LH 토지주택연구원

연구기획 2023-011

자율주행시스템을 고려한 신도시 도로 네트워크 구축방안(I)

신도겸 / 김태균 / 변완희 / 권오준

LAND HOUSING INSTITUTE

LH 토지주택연구원

연구기획 2023-011

자율주행시스템을 고려한 신도시 도로 네트워크 구축방안(I)

신도겸 / 김태균 / 변완희 / 권오준

LAND & HOUSING INSTITUTE

연구기획 2023-011호

자율주행시스템을 고려한 신도시 도로 네트워크 구축방안(I)

지은이 신도겸 · 김태균 · 변완희 · 권오준
발행인 김홍배
발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원
편　집 신도겸

주소 (우)305731 대전광역시 유성구 엑스포로 539번길 99
전화/전송 042) 866-8569/ 0503-6994-9137
전자우편 dkshin@lh.or.kr
홈페이지 http://lhi.lh.or.kr

• 이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구·검토한 기초자료로써 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다.
• 우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

연구기획 2023-011

자율주행시스템을 고려한 신도시 도로 네트워크 구축방안(I)

Making Automated Vehicles-Ready New City : Phase 1 - Road Networks and Infrastructures

LH 토지주택연구원

참여연구진

연구총괄
신도겸 LH 토지주택연구원 책임연구원

공동연구진
김태균 LH 토지주택연구원 연구위원
변완희 LH 토지주택연구원 연구위원
권오준 LH 토지주택연구원 연구원

위탁연구용역
이상화 목원대학교 산학협력단 연구교수
임지희 목원대학교 산학협력단 책임연구원
강수희 목원대학교 산학협력단 연구원

연구심의위원(가나다순)
김인희 공주대학교 교수
윤정중 LH토지주택연구원 실장 (심의위원장)
윤태관 국토연구원 부연구위원
이연화 LH 공공택지사업처 차장
이 준 한국교통연구원 연구위원
정기모 LH 사업영향평가처 부장

연 구 요 약

□ 연구배경 및 목적

○ 자율주행자동차는 도시교통과 도시의 공간 구조를 혁신적으로 변화시킬 미래 모빌리티의 핵심으로 부상하고 있음

- 단기적으로 주차공간, 차로변 승하차 공간, 도로 효율 향상 등에서 변화를 가져올 것으로 예측
- 장기적으로는 공유교통, 수요대응형 대중교통(DRT)의 활성화, 주거지와 중심업무지역 간 위치 변화 등으로 인한 부동산 가치의 변화 역시 예측

○ 반면 3기 신도시 등 현재 건설 중인 신도시는 자율주행 시스템을 고려하여 도로 및 교통 체계를 구상하지 않아, 미래 도시경쟁력에서 불확실성이 존재

- 3기 신도시의 목표 입주 시기는 2027년도이며, 실제 완전한 입주가 마무리되는 것은 2030년경으로 예상
- 2030년은 개인용 자율주행자동차와 더불어 공유차량, 자율주행 택시, 자율주행 BRT 등 다양한 자율주행 교통수단이 운행되고 있을 가능성이 높음
- 그러나 신도시에서 현재의 도로 및 교통 체계에서 자율주행 교통수단이 어느 정도 효율적으로 운행될지 불투명함

○ 따라서 3기 신도시의 도로 네트워크가 자율주행 기술이 구현된 교통수단을 어느 정도 수용할 수 있으며, 예상되는 문제점을 찾아 보완이 필요함

○ 이에, 본 연구를 통해 신도시 건설 시 자율주행의 운행 측면에서 발생할 수 있는 문제점과 대응 방향을 제시하고자 함

- 자율주행 교통수단의 운행을 위한 도로 네트워크의 물리적 인프라 측면에서 고려사항 검토

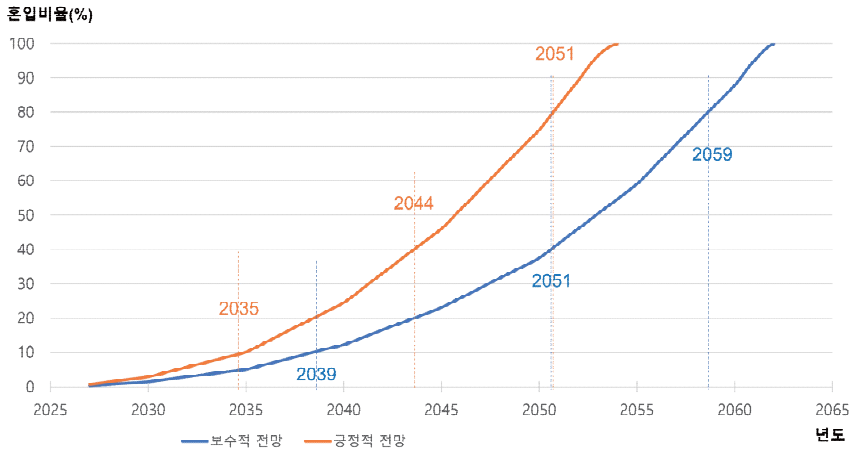
- 자율주행시스템 운행 시 신도시 도로 네트워크의 효율과 예상되는 문제점 파악
- 자율주행시스템 수용을 위한 도로 측면과 도시 공간 인프라 측면 모두에서 개선방안 도출
- 자율주행자동차와 일반차의 혼입을 고려하여 자율주행을 위한 인프라 도입 가이드라인 작성

□ 자율주행자동차 상업화 전망

○ 해외 비즈니스 컨설턴트와 기관들의 전망을 종합하면 다음과 같음
- 자율주행자동차의 상용화는 2027~2028년경에 이루어질 것으로 전망
- 2040년에는 판매차량의 10~30% 정도가 자율주행 Lv3이상의 기능을 보유할 것으로 전망. 그러나 다수가 Lv3일 것이며, Lv4는 적을 것으로 예측
- 2050년 정도면 자율주행자동차의 혼입률이 35% 수준에 도달할 수 있으나, 여전히 Lv3가 Lv4보다는 다수를 차지할 것으로 전망

※ 2020년 이전의 예측에 비해 상용화와 활성화가 늦어지는 경향이 있음

○ 국내의 자율주행자동차 혼입비율 전망
- 일반인이 구입할 수 있는 자율주행자동차는 2025년 정도에 시제품 생산
  - ◆ 자율주행자동차의 판매가격에 따라 큰 변화가 예상
  - ◆ 국내의 동향으로 볼 때 셔틀과 대중교통, 로보택시가 1~2년 정도 더 빨리 상용화 될 것으로 전망
- 실질적인 판매는 2027년부터 이루어질 것으로 예상
- 2030년 정도면 전체 등록 자동차 대비 약 2%~4% 수준 전망
- 2035년에 10% 수준 예상
- 2050년에 40% 수준 예상



[요약 그림 1] 국내 자율주행자동차 증가 전망

□ 자율주행을 고려한 물리적 인프라 고려항목 및 개선 방향

○ 물리적 인프라 분야에서 기존 연구는 노면표시와 교통표지판 등의 도로의 교통시설, Flexzone과 같은 보도변 공간의 변화, 전용차로, 모빌리티 허브에 대한 개선이 필요한 것으로 분석

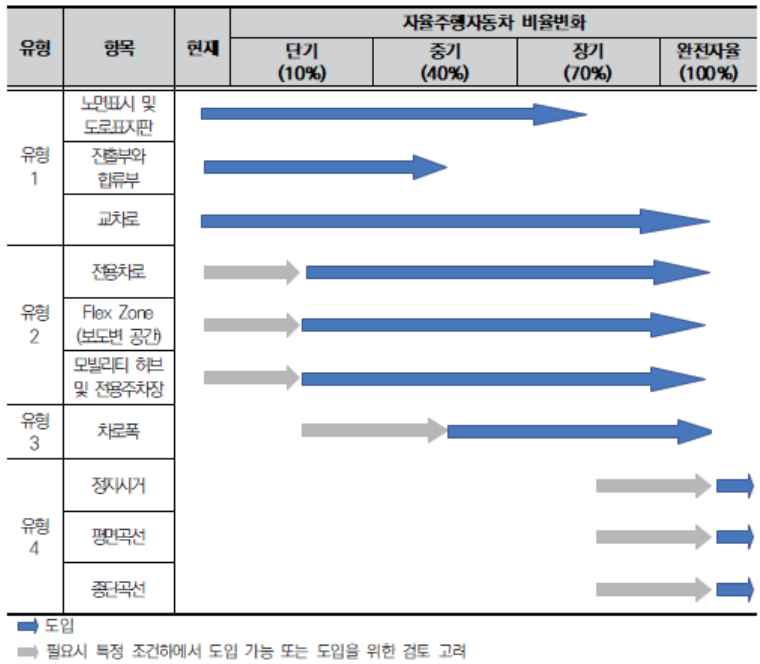
○ 자율주행자동차의 비율이 낮은 시기에는 노면표시와 도로표지판, 교차로, 진출부와 합류부를 중심으로 개선필요

○ 전용차로와 Flex zone, 모빌리티 허브 등은 자율주행자동차의 비율이 일정 수준이 되었을 때 유용하지만, 선제적 대응차원에서 검토 필요

○ 평면곡선 등의 도로 선형의 경우 자율주행 100%가 아니면, 일반운전자를 고려할 때 변경이 어려움

[요약 표 1] 기존 연구의 검토 대상 인프라 정리

구분	주요 항목	국토연구원 (2018)	McKinsey & Company (2019)	Liu et al. (2019)	EU MANTRA Project (2020)	Aryal (2020)	Manivasakan et al.(2021)	Austroads (2022)	KAIA R&D (건기연) (2022)
도로선형 설계요소	도로단면 (차로폭)					○			○
	평면곡선					○			○
	종단곡선					○			○
	시거				○	○			○
	속도제한				○				
도로 교통시설	**노면표시**		○	○	○		○	○	
	교통표지판 (공사구역)	○		○	○		○	○	
	도로포장			○			○	○	
	라인마킹						○		
도시 공간설계	**보도변 공간**		○		○		○	○	
	Flex Zone	○	○				○		○
	서비스 및 안전구역	○	○	○			○	○	
교차로 및 교통신호	교차로 설계			○					○
	인터체인지							○	
	교통신호							○	
자율주행 전용시설	**전용차로**						○	○	○
	전용주차 및 허브, 환승시설	○		○			○	○	○

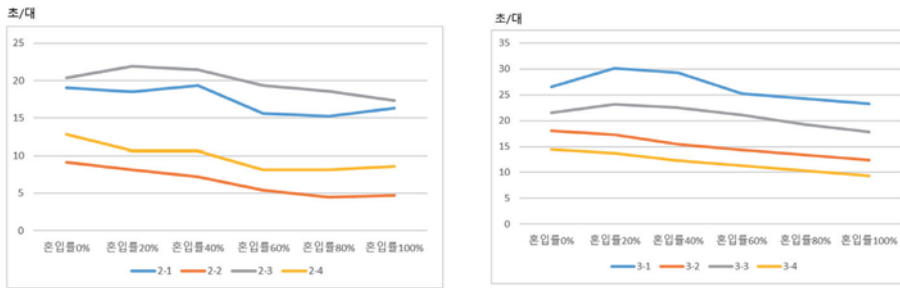


[요약 그림 2] 자율주행 지원 인프라 도입 시기

□ 신도시의 도로 네트워크 개선 필요 항목

○ 교차로 접근로별 평균지체를 분석한 결과 교통량이 많은 2-1, 2-3 접근로에서는 자율주행차 혼입률 40%까지 평균지체가 증가하다 60%부터 감소하는 추세

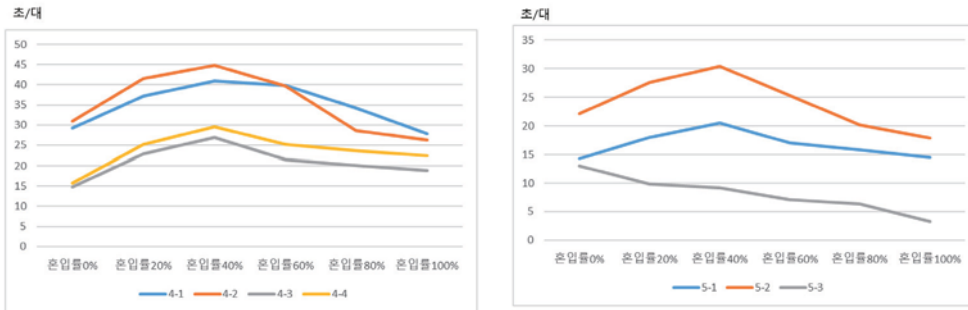
○ 교통량이 많지 않은 2-2, 2-4의 경우 평균지체가 감소하는 경향을 보임



[요약 그림 3] A구역 2번과 3번 교차로 접근도로 분석 결과

○ 교차로 접근로별 평균지체를 분석한 결과 4번 교차로의 경우 타 지점 대비 차량 당 겪는 정체시간이 가장 깊

○ 이는 지하차도로 유입되는 구간인 S44의 경우 회전 후 지하차도로의 진입부가 100m 이내 존재하며, 4차로에서 2차로로 차로 변경 후 다시 좌회전 및 우회전하기 위해 차로를 변경해야 하며, 교통량도 많아 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 정체시간이 길어진 것으로 판단



[요약 그림 4] B 구역 4번과 5번 교차로 접근도로 분석 결과

□ 자율주행차 혼입률에 따른 문제점 발생 구간

○ 자율주행차 혼입에 따른 도로 용량 개선 효과는 존재하나, 이는 서비스수준 A, B 등급일 경우이며, 교통량이 많은 서비스수준 C 이상인 경우 오히려 정체가 유발되거나 용량 개선 효과가 없다는 연구 결과 존재(박인선 외2015, Shelton 외2019)

○ 시뮬레이션 분석 결과 교통량이 자체가 많은 것보다는 교통량이 많고 부수적으로 어떠한 문제가 같이 병행해야 정체 현상이 가중되는 것을 확인 가능

- 교통량이 많은데, 교차로 설치간격이 짧은 경우, 회전을 위한 차로 변경 등

○ 특히 자율주행차의 특성상 짧은 구간 내 차로변경을 급격하게 해야 하는 경우 충분한 차간간격이 확보되지 않는다면 정체 발생

- 자하차도 및 고가도로 유입부
- 교차로간 설치간격이 짧은 경우

- 전용차로 이용을 위한 차로 변경
- 감가속차로 및 급격한 차로 수 변화

□ 문제구간 개선방안

○ 자율주행차 혼입률에 따른 문제점 발생 구간은 앞서 서술한 바와 같이 교통량이 많으면서 짧은 구간 내 차로 변경을 급격하게 해야 하는 경우

○ 따라서 해당 구간이 최소한으로 설치되도록 설계해야 하며, 부득이하게 설치되는 경우 자율주행차의 특성을 고려하여 해당 기준을 완화 및 설치 필요

○ 물론 해당 방안을 실제 적용하기 전에 기하구조 개선에 따른 효과 여부 검토가 수행

○ 최근 회전 차량을 위해 전용차로 설치, 차로의 균등 배분을 위한 회전차로 포켓 등을 설치하는데, 이에 대한 면밀한 검토가 필요

□ 본 연구의 한계 및 향후 연구

○ 자율주행 교통수단에 대한 연구는 아직 진행형이며 명확한 결론이 나오지 못함

○ 기존 연구의 다수가 고속도로 중심이며 도심 운행에 대한 것은 아직 이론적이며 컨셉 구상 중심

- 도심 운행을 위한 도로 및 공간설계에 대한 실증은 24년부터 진행 예상

○ 개별 개선 항목에 대한 보다 면밀한 검토와 방안 연구가 필요

- 각 개선 항목마다 하나의 큰 연구 주제

○ 앞으로 수행할 2단계와 3단계 연구의 내용적 범위를 설정하면 다음과 같음

- 2차 연구내용 : 문제점 도출 및 개별 인프라 항목별 개선방법 도출 및 검증, 자율주행전용차로의 효과와 도입방안
- 3차 연구내용 : Flex Zone 등 도시 공간 시설물의 효과 분석과 적용방안, 종합 가이드라인

주제어 자율주행, 3기 신도시, 도로 네트워크, 마이크로 시뮬레이션

차 례

제1장 서 론 ····· 3

1. 연구의 배경 및 목적 ····· 3
   1.1. 연구 배경 ····· 3
   1.2. 연구 목적 ····· 5
2. 연구의 범위 및 연구 수행 방법 ····· 5
   2.1. 연구의 범위 ····· 5
   2.2. 주요 연구 내용 ····· 6
   2.3. 연구 수행 방법 ····· 8

제2장 자율주행 교통수단의 특성과 상용화 전망 ····· 13

1. 자율주행자동차의 정의 및 기술 구성 ····· 13
   1.1. 자율주행자동차의 정의 ····· 13
   1.2. 자율주행자동차의 기술 단계 ····· 13
   1.3. 자율주행자동차의 기술 구성 ····· 16
2. 자율주행 교통수단의 현황 및 특성 ····· 19
3. 자율주행자동차 상용화 전망 ····· 27

제3장 자율주행 교통수단 운영을 위한 물리적 인프라 개선 항목 및 방향 ··· 37

1. 기존연구 분석을 통한 물리적 인프라 개선 항목 도출 ····· 37
   1.1. 연구를 위한 전제 ····· 37
   1.2. 기존연구 분석 ····· 38

1.3. 개선 필요 인프라 항목 요약 ····· 53
2. 자율주행을 위한 물리적 인프라 설계 최적화 방향 ····· 56
3. 물리적 인프라의 단계별 개선 및 도입 시기 ····· 84

제4장 3기 신도시 도로 네트워크 현황 및 특징 ····· 93

1. 3기 신도시의 개요 ····· 93
2. 고양창릉지구 ····· 94
2.1. 위치 ····· 94
2.2. 토지이용계획 ····· 95
2.3. 인구 및 주택계획 ····· 95
2.4. 도로계획 ····· 97
2.5. 대중교통계획 ····· 98
2.6. 통행수요예측 ····· 99
3. 부천대장지구 ····· 101
3.1. 위치 ····· 101
3.2. 토지이용계획 ····· 102
3.3. 인구 및 주택계획 ····· 102
3.4. 도로계획 ····· 103
3.5. 대중교통계획 ····· 105
3.6. 통행수요예측 ····· 106
4. 인천계양지구 ····· 108
4.1. 위치 ····· 108
4.2. 토지이용계획 ····· 109
4.3. 인구 및 주택계획 ····· 109
4.4. 도로계획 ····· 110
4.5. 대중교통계획 ····· 111

4.6. 통행수요예측 ····· 112
5. 하남교산 ····· 114
5.1. 위치 ····· 114
5.2. 토지이용계획 ····· 115
5.3. 인구 및 주택건설 계획 ····· 115
5.4. 도로계획 ····· 117
5.5. 대중교통계획 ····· 118
5.6. 통행수요예측 ····· 120
6. 남양주왕숙1 ····· 122
6.1. 위치 ····· 122
6.2. 토지이용계획 ····· 123
6.3. 인구 및 주택건설 계획 ····· 123
6.4. 도로계획 ····· 125
6.5. 대중교통계획 ····· 126
6.6. 통행수요예측 ····· 127
7. 남양주왕숙2 ····· 129
7.1. 위치 ····· 129
7.2. 토지이용계획 ····· 130
7.3. 인구 및 주택건설 계획 ····· 130
7.4. 도로계획 ····· 131
7.5. 대중교통계획 ····· 132
7.6. 통행수요예측 ····· 133
8. 모델링 대상지 선정 ····· 135

제5장 교통시뮬레이션 구축 및 분석 ····· 141

1. 교통시뮬레이션 분석 개요 ····· 141
   1.1. 교통시뮬레이션 분석 목적 ····· 141
   1.2. 분석 대상지 및 자료 수집 ····· 142
2. 시뮬레이션 환경 구축 ····· 151
   2.1. 시뮬레이션 툴 선정 ····· 151
   2.2. 차량운행 모델링을 위한 모형과 파라미터 설정 ····· 154
   2.3. 기하구조 및 신호현시 수정 ····· 158
   2.4. 시뮬레이션 환경 구축 결과 ····· 158
3. 시뮬레이션 분석 ····· 159
   3.1. 시나리오 설정 ····· 159
   3.2. 효과척도 및 분석대상 ····· 160
4. 분석 결과 ····· 161
5. 문제점 및 개선방안 ····· 167

제6장 결 론 ····· 171

1. 연구 결과 ····· 171
2. 연구의 한계 ····· 174
3. 향후 연구 방향 ····· 175

참 고 문 헌 ····· 179

표 차 례

[표 3-1] 자율주행을 위해 개선이 필요한 인프라 항목(국토연구원) ····· 39
[표 3-2] 자율주행을 위한 개선이 필요한 인프라 항목(EU MANTRA) ····· 41
[표 3-3] Austroads의 자율주행을 대비한 물리적 인프라 투자 대상 ····· 43
[표 3-4] KAIA R&D의 미래도로 설계 고려 요소 ····· 44
[표 3-5] Aryal의 자율주행을 위한 검토 대상 인프라 ····· 45
[표 3-6] 기반시설 개선 시 고려사항 ····· 46
[표 3-7] 기반시설 도입 시나리오에 따른 세부사항 ····· 47
[표 3-8] 기반시설 안전성 평가 기준 ····· 49
[표 3-9] 기반시설 효율성 평가 기준 ····· 50
[표 3-10] 자율주행 관련 시설 접근성 평가 기준 ····· 50
[표 3-11] 기존연구의 개선 필요 물리적 인프라 정리 ····· 54
[표 3-12] 일반차량과 자율주행자동차의 설계속도와 정지시거 ····· 57
[표 3-13] 자율주행자동차의 경사도에 변화에 따른 정지시거 ····· 58
[표 3-14] 국내 설계속도와 최소 차로폭 기준I ····· 58
[표 3-15] 국내 설계속도와 최소 차로폭 기준II ····· 59
[표 3-16] 해외 연구의 자율주행자동차를 위한 도로폭 ····· 59
[표 3-17] 설계속도에 따른 종단곡선 길이 차이 ····· 64
[표 3-18] 설계속도와 종단곡선 곡률(K) 비교 ····· 65
[표 3-19] 국내의 노면표시 반사재료의 반사성능 기준 ····· 67
[표 3-20] 교통안전표지의 크기 확대 비율 ····· 69
[표 3-21] 미국 Seattle시의 Flex Zone 활용 Use Cases ····· 72
[표 3-22] 국가 R&D에서 정의한 Flex Zone 개념 ····· 74
[표 3-23] 제한속도와 교차로폭에 따른 황색신호시간 ····· 77
[표 3-24] 자율주행자동차를 위한 신호제어방식에 따른 요구사항 ····· 78

[표 3-25] 인프라의 단계별 개선 로드맵 ····· 85
[표 3-26] 노면표시 및 도로표지판 개선 시나리오(안) ····· 86
[표 3-27] 진출부와 합류부 개선 시나리오(안) ····· 86
[표 3-28] 교차로 개선 시나리오(안) ····· 87
[표 3-29] 전용차로 도입 시나리오(안) ····· 88
[표 3-30] 보도변 공간(Flex Zone) 개선 시나리오(안) ····· 88
[표 3-31] 자율주행자동차 모빌리티 허브 도입 시나리오(안) ····· 89
[표 3-32] 차로폭 변경 시나리오(안) ····· 90
[표 3-33] 도로 선형 개선 시나리오(안) ····· 90
[표 4-1] 토지이용계획 : 고양창릉지구 ····· 95
[표 4-2] 고양창릉지구 인구 및 주택건설 계획 ····· 96
[표 4-3] 고양창릉지구 도로계획 ····· 97
[표 4-4] 고양창릉지구 수단 통행량 예측 ····· 100
[표 4-5] 토지이용계획 : 부천대장지구 ····· 102
[표 4-6] 부천대장지구 인구 및 주택건설 계획 ····· 103
[표 4-7] 부천대장지구 도로계획 ····· 104
[표 4-8] 부천대장지구 수단 통행량 예측 ····· 107
[표 4-9] 토지이용계획 : 인천계양지구 ····· 109
[표 4-10] 인천계양지구 인구 및 주택건설 계획 ····· 109
[표 4-11] 인천계양지구 수단 통행량 예측 ····· 113
[표 4-12] 토지이용계획 : 하남교산지구 ····· 115
[표 4-13] 하남교산지구 인구 및 주택건설 계획 ····· 116
[표 4-14] 하남교산지구 수단 통행량 예측 ····· 121
[표 4-15] 토지이용계획 : 남양주왕숙1지구 ····· 123
[표 4-16] 남양주왕숙1지구 인구 및 주택건설 계획 ····· 124
[표 4-17] 남양주왕숙1지구 도로계획 ····· 125
[표 4-18] 남양주왕숙1지구 수단 통행량 예측 ····· 128

[표 4-19] 토지이용계획 : 남양주왕숙2지구 ····· 130
[표 4-20] 남양주왕숙2지구 인구 및 주택건설 계획 ····· 130
[표 4-21] 남양주왕숙2지구 도로계획 ····· 132
[표 4-22] 남양주왕숙2지구 수단 통행량 예측 ····· 134
[표 4-23] 3기 신도시 6개 지구 비교 ····· 137
[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획 ····· 144
[표 5-2] 교통시뮬레이션 모형 비교 ····· 152
[표 5-3] 자율주행차량 주행특성 분석을 위한 미시 교통시뮬레이션 비교 ··· 153
[표 5-4] 분석 차종 및 비율 ····· 154
[표 5-5] 자율주행자동차의 주행특성 제어변수 값 ····· 155
[표 5-6] 차량 제어변수(파라미터) 값(일반차량과 자율주행자동차) ····· 157
[표 5-7] 분석 시나리오 ····· 159
[표 5-8] 분석 구간별 특성 ····· 161

그림차례

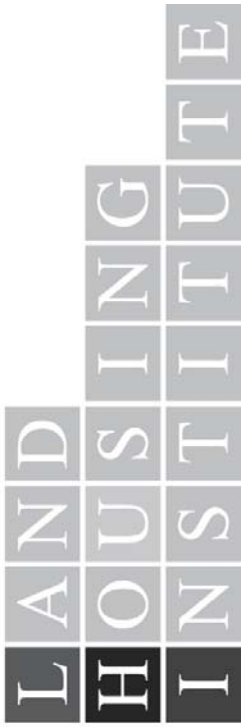
[그림 1-1] 전체 연구 흐름도 ····· 8
[그림 2-1] 자율주행 기능 6단계 ····· 15
[그림 2-2] 자율주행자동차의 기술 구성 ····· 16
[그림 2-3] 자율주행 관련 주요 센서의 개념 ····· 17
[그림 2-4] C-ITS의 V2X 개념 ····· 18
[그림 2-5] 정밀지도 개념도 ····· 18
[그림 2-6] GM크루즈에서 발표한 운전대 없는 자율주행자동차 ····· 20
[그림 2-7] GM크루즈 로보택시 ····· 21
[그림 2-8] 스마트폰 어플리케이션 호출 화면 : 구글 웨이모원 ····· 22
[그림 2-9] 자율주행셔틀 관제센터 : 경기도 자율주행센터 ····· 23
[그림 2-10] 서울시 청계천의 자율주행셔틀 및 키오스크 ····· 24
[그림 2-11] 수요응답형 aDRT 서비스(현대자동차 로보셔틀) ····· 25
[그림 2-12] 자율주행버스 실증 사례 ····· 26
[그림 2-13] 자율주행버스 관제센터 : SKT ····· 26
[그림 2-14] 미국 미네소타주의 CAV 전망(2040년 기준) ····· 28
[그림 2-15] 정부기관과 관련업계의 자율주행 상용화 전망(Deloitte) ····· 29
[그림 2-16] 자율주행자동차 글로벌 판매전망 :2021-2028 (Frost & Sullivan) ·· 30
[그림 2-17] 자율주행자동차 글로벌 판매전망 :2018-2030(IHS Markit) ···· 30
[그림 2-18] 자율주행자동차 판매전망(호주 및 뉴질랜드) ····· 32
[그림 2-19] 자율주행자동차의 상업적 판매 전망(호주 및 뉴질랜드) ····· 33
[그림 2-20] 국내 자율주행자동차 혼입비율(MPR) 전망 ····· 34
[그림 3-1] 사례 1. Glen Waverley 주변 지역 기하구조 변경 개념도 ····· 51
[그림 3-2] 사례 2. South Yarra지역 기하구조 변경 개념도 ····· 52

[그림 3-3] 일반차량 기준 최소 평면곡선 반경 설계(안) ····· 60
[그림 3-4] 자율주행차량 기준 최소 평면곡선 반경 설계(안) ····· 61
[그림 3-5] 일반차량 기준 곡선부 추가 확폭 설계(안) ····· 62
[그림 3-6] 자율주행자동차 기준 곡선부 추가 확폭 설계(안) ····· 62
[그림 3-7] 종단곡선 개념도 ····· 63
[그림 3-8] 종단곡선 설계 변화 예시(내리막-오르막) ····· 65
[그림 3-9] 자율주행자동차의 인식을 방해하는 차선표시 사례 ····· 66
[그림 3-10] 젖은 도로에서의 재귀반사성능 예시 ····· 68
[그림 3-11] 횡단보도 표지의 확대 예시 ····· 69
[그림 3-12] 도로 이정표의 보조표지로써 QR 코드 사용 예시 ····· 70
[그림 3-13] QR 코드를 이용한 공사 지역 표시 개념 ····· 70
[그림 3-14] 무단횡단 금지시설 예시 ····· 71
[그림 3-15] 자율주행시대의 보도변 공간의 활용 ····· 73
[그림 3-16] 교통신호기 교차로 진입 전·후 지점 설치 예시 ····· 76
[그림 3-17] 자율주행 모빌리티 허브 컨셉 ····· 83
[그림 3-18] HDV와 AV를 위한 주차장 단면 설계 비교 ····· 84
[그림 4-1] 3기 신도시의 위치 총괄도 ····· 93
[그림 4-2] 사업지 위치도 : 고양창릉지구 ····· 94
[그림 4-3] 토지이용 및 주택건설계획도 : 고양창릉지구 ····· 96
[그림 4-4] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 고양창릉지구 ····· 98
[그림 4-5] BRT 및 버스정류장 설치계획 : 고양창릉지구 ····· 99
[그림 4-6] 사업지 위치도 : 부천대장지구 ····· 101
[그림 4-7] 토지이용 및 주택건설계획도 : 부천대장지구 ····· 103
[그림 4-8] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 부천대장지구 ····· 104
[그림 4-9] BRT 및 버스노선 계획 : 부천대장지구 ····· 105
[그림 4-10] 사업지 위치도 : 인천계양지구 ····· 108
[그림 4-11] 토지이용 및 주택건설계획도 : 인천계양지구 ····· 110

[그림 4-12] 교차로 운영계획 : 인천계양지구 ····· 111
[그림 4-13] S-BRT 노선 및 버스정류장 계획 : 인천계양지구 ····· 112
[그림 4-14] 사업지 위치도 : 하남교산지구 ····· 114
[그림 4-15] 토지이용계획 : 하남교산지구 ····· 116
[그림 4-16] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 하남교산지구 ····· 118
[그림 4-17] 도시철도 및 버스전용차로 노선 계획 : 하남교산지구 ····· 119
[그림 4-18] 사업지 위치도 : 남양주왕숙1지구 ····· 122
[그림 4-19] 토지이용 및 주택건설계획도 : 남양주왕숙1지구 ····· 124
[그림 4-20] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 남양주왕숙1지구 ····· 125
[그림 4-21] 버스 노선체계와 정류장 계획 : 남양주왕숙1지구 ····· 127
[그림 4-22] 사업지 위치도 : 남양주왕숙2지구 ····· 129
[그림 4-23] 토지이용 및 주택건설계획도 : 남양주왕숙2지구 ····· 131
[그림 4-24] 도로망 체계도 : 남양주왕숙2지구 ····· 132
[그림 4-25] 교차로 및 버스정류장 운영계획 : 남양주왕숙2지구 ····· 133
[그림 4-26] 모델링 후보지 선정 절차 ····· 136
[그림 5-1] 분석대상 구간 현황 ····· 142
[그림 5-2] 사업지 내부 교통량도(대/시) ····· 143
[그림 5-3] 분석대상 구간 현황 ····· 158
[그림 5-4] 분석대상 구간 ····· 160
[그림 5-5] A 구역 분석 지점 ····· 161
[그림 5-6] A 구역 2번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 162
[그림 5-7] A 구역 3번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 162
[그림 5-8] B 구역 분석 지점 ····· 163
[그림 5-9] B 구역 4번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 164
[그림 5-10] B 구역 5번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 164
[그림 5-11] C 구역 분석 지점 ····· 165
[그림 5-12] C 구역 6번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 166

[그림 5-13] C 구역 7번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 166
[그림 5-14] C 구역 8번 교차로 접근도로 분석 결과 ····· 167

제 1 장
서 론



제1장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

1.1. 연구 배경

○ 자율주행자동차는 도시교통과 도시의 공간 구조를 혁신적으로 변화시킬 미래 모빌리티의 핵심으로 부상하고 있음

- 단기적으로 주차 공간, 차로 변 승하차 공간, 교통흐름의 효율 향상 등에서 변화를 가져올 것으로 예측됨
- 장기적으로는 공유교통, 수요대응형 대중교통(DRT)의 활성화, 주거지와 중심업무지역 등의 위치 변화 등으로 인한 부동산 가치의 변화 역시 전망되고 있음

○ 주요 선진국은 2027년을 목표로 완전자율주행자동차의 개발 및 제품 출시와 운행 환경 조성을 위해 노력을 기울이고 있음

- 미국은 2030년까지 자동차의 전체 주행거리 중 4분의 1이 자율주행에 의해 이루어질 것이며, 2035년에는 전체 신규 판매 차량의 10%가 LV4 자율주행차량일 것으로 전망(보스턴 컨설팅 그룹)[1)]
- 구글 웨이모와 GM 크루즈의 유료 자율주행택시 사업 승인(2022년 2월)
- 미국 교통안전국(NHTSA)는 운전대와 페달이 없는 자율주행자동차의 제작 및 공급 승인 (2022년 3월)
- GM 크루즈는 운전대와 페달 없는 자율주행자동차를 2022년 7월 선보였으며, 2023년 초 생산과 공급 시작 계획

○ 우리 정부 역시 도시의 교통문제를 해결할 4차 산업혁명의 핵심과제로

1) Boston Comsulting Group(BCG) (2022), “Mobility”, available at https://www.bcg.com/industries/public-sector/mobility

국가차원의 기술개발 및 지원을 하고 있음

- 정부는 2030년에 신차 중 자율주행자동차의 비율을 40.5%, 2035년에는 75%로 전망 (2030 국가 로드맵)[2)]

◆ 자율주행자동차 관련 시장은 2035년 26조 1,794억원으로 성장할 것으로 전망(소프트웨어정책연구소)[3)]

- 2021년 말 기준 7개 도시가 자율주행자동차 시범운행지구로 선정되었으며, 셔틀, DRT 등 다양한 서비스를 시범 운행 중

○ 반면 현재 계획 및 진행 중인 3기 신도시는 자율주행 교통수단을 고려하지 않고 도로 및 교통 체계를 구상 및 계획하여 자율주행시대에 대비가 충분하지 못함

- 3기 신도시의 목표 입주 시기는 2027년도이며, 실제 완전한 입주가 마무리되는 것은 2030년경으로 예상
- 반면 2030년은 개인용 자율주행자동차와 더불어 공유차량, 자율주행 택시, 자율주행 BRT 등 다양한 자율주행 교통수단의 운행이 시작 될 것으로 전망됨
- 그러나 2030년 이후 자율주행 교통수단이 지속적으로 확충될 것이며, 이로 인해 현재 계획된 도로 및 교통 체계에서 자율주행 교통수단이 어느 정도 효율적으로 운행될지 불투명함

○ 따라서 3기 신도시의 도로 네트워크가 자율주행 기술이 구현된 교통수단을 어느 정도 수용할 수 있는지 분석하고, 예상되는 문제점을 찾아 보완할 필요가 있음

- 자율주행자동차와 일반 차량이 혼합된 상태에서 도로 네트워크상의 교통 흐름에 대한 면밀한 검토가 필요
- 자율주행전용도로 등 새로운 인프라의 필요성과 효과 등에 대한 면밀한 분석과 검토가 필요

---

2) 관계부처합동 (2019), 「미래자동차 산업 발전전략 : 2030년 국가 로드맵」.
3) 서영희 (2017), "자율주행자동차 시장 및 정책 동향", 「SW중심사회」, 6월호, 소프트웨어정책연구소.

- 더불어 자율주행교통수단으로 인한 차로변 공간의 변화에 대한 검토와 개선 방안의 제시가 필요

1.2. 연구 목적

○ 자율주행 교통수단의 운행을 위한 신도시 도로 네트워크의 인프라 측면에서 고려해야하는 사항을 검토

○ 자율주행 교통수단 운행 시 신도시 도로 네트워크의 효율과 예상되는 문제점 파악

○ 자율주행 교통수단의 수용을 위한 도로 측면과 도시 공간 인프라 측면 모두에서 개선방안 도출

○ 자율주행자동차와 일반차량의 혼입을 고려하여 적절한 자율주행을 위한 인프라 도입을 위한 로드맵 작성

2. 연구의 범위 및 연구 수행 방법

2.1. 연구의 범위

1) 시간적 범위

○ 글로벌 시장 조사 기관들은 완전자율주행자동차가 2025년부터 실질적인 보급이, 2035년에 보급률 10%, 2070년에 보급률 100%를 달성할 것으로 전망함

○ 따라서 본 연구는 3기 신도시 입주가 시작되는 2027년을 연구의 시작 시간으로 하고, 자율주행자동차의 보급률 100%에 이를 것으로 예상되는 시점까지를 분석의 시간적 범위로 함

2) 공간적 범위

○ 연구의 공간적 범위는 3기 신도시 중 토지이용계획과 교통영향평가가 완료된 6개 지구를 대상으로 함

- 남양주 왕숙, 남양주 왕숙 2, 하남 교산, 인천 계양, 고양 창릉, 부천 대장, 광명 시흥

◆ 연구 기간을 고려하여 6개 지구의 특징을 잘 반영할 수 있는 1개 지구를 선정하여 연구 수행

3) 내용적 범위

○ 본 연구는 자율주행 100%인 환경을 고려하지만, 주 연구 내용은 자율주행 교통수단과 일반차량의 혼입 운행 상태로 함

○ 연구에서 고려하는 자율주행 교통수단은 도로기반 교통수단으로 한정함

- 승용차, 택시(공유자동차), 셔틀과 DRT, 버스(BRT)

○ 교통 및 도로 인프라는 물리적 인프라로 한정하고, 통신장비 등의 디지털 인프라는 검토 대상에서 제외함

2.2. 주요 연구 내용

○ 본 연구는 2022년 1단계를 시작으로 2단계와 3단계의 단계적으로 연구를 수행하며, 각 단계별 연구의 범위는 다음과 같음

□ 1단계

○ 자율주행시스템의 특성 검토 및 상용화 전망

- 자율주행자동차의 정의 및 기술 검토
- 각 교통수단 유형별 특성 및 현황 검토
- 자유주행자동차의 상용화 전망 검토 및 국내 시장 예측

○ 자율주행 도입 시 변화가 예상되는 주요 인프라 검토

- 물리적 인프라 관련 기존연구 검토
- 개선 및 신규 도입이 필요한 인프라 항목 도출
- 도출된 인프라 항목별 최적화 방안 검토
- 자율주행교통시스템 상용화 전망에 따른 개선 방향 작성

○ 3기 신도시의 도로 네트워크 현황 및 특성 검토
- 6개 지구별 토지이용계획, 인구 및 주택계획, 도로 및 대중교통 계획 등 검토
- 모델링 대상지 선정(1개 지구)

○ 신도시 도로 네트워크의 자율주행시스템 운행 시 도로 효율 분석
- 도로 네트워크의 차로 수와 교통 신호 등 교통흐름 상의 문제점 및 원인 분석 (1개 신도시 지구에 대한 Case Study)

□ 2단계

○ 개별 도로 시설물에 대한 개선방안 도출을 위한 모델링
- 지하차도, 교차로, 진출입로, 차선변경 등

○ 현재와 자율주행 교통수단 도입 및 인프라 개선에 의한 교통흐름 변화 비교 분석
◆ 1단계에서 도출된 주요 문제점과 개별 시설물의 개선방안을 적용하여 모델링 수행

○ 개별 도로시설의 문제점 개선 방안 제시

○ 자율주행전용도로의 필요성 및 효과 분석

○ 자율주행전용도로의 도입을 위한 필요 환경 및 설치 방향

□ 3단계

○ 자율주행 교통수단을 위해 도시 공간 및 도로에 적용이 필요한 시설물에 대한 기존연구 검토
- Flex zone 등에 대한 기술적 상세 검토

○ 자율주행을 위한 도시 공간 및 도로 시설물의 효과 분석 및 도입 방향
◆ 1단계에서 구축한 모델링 대상지를 대상으로 공간시설물에 의한 영향 분석

○ 도로 인프라측면에서의 개선사항 및 방향 도출

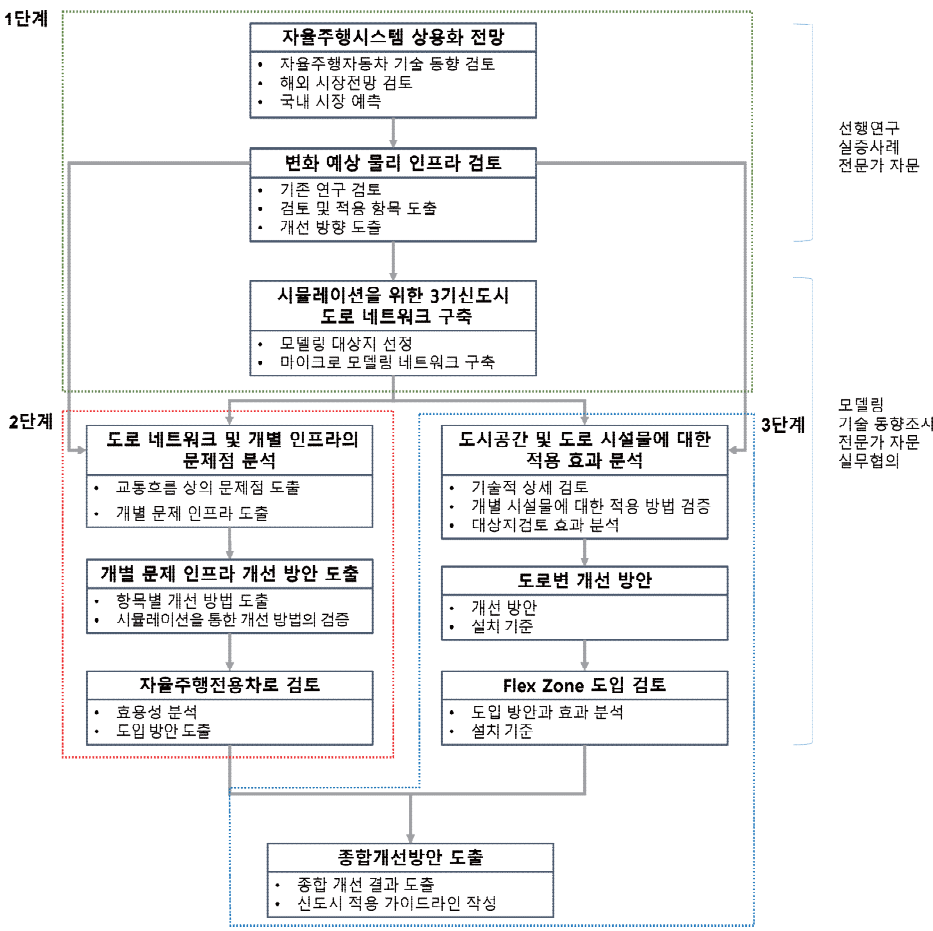
○ 1, 2단계의 연구결과를 종합하여 1개 도시에 대해 종합개선안 도출

○ 자율주행 교통수단을 위한 물리적 인프라의 도입 로드맵

2.3. 연구 수행 방법

○ 단계별 연구의 진행 절차는 [그림1-1]을 따름

○ 본 단락에서는 1단계 연구의 주요 수행방법을 정리함



[그림 1-1] 전체 연구 흐름도

□ 문헌 자료 조사

○ 신도시 도로 네트워크와 교통 측면의 특징을 교통영향평가 자료를 기반으로 검토

○ 자율주행시스템을 위한 인프라 측면의 요구 항목과 기준 조사

○ 자율주행자동차 관련 교통 모델링의 최신 경향과 고려 사항

□ 전문가 그룹 및 관련 기관 자문

○ 자율주행시스템을 위한 인프라 측면의 요구 항목과 기준 조사

○ 신도시 도로 네트워크의 자율주행시스템 운행 시 문제점 및 개선 방안

○ 자율주행자동차 관련 교통 모델링의 최신 경향과 고려 사항

□ 마이크로 시뮬레이션 수행

○ 현재(비 자율주행)와 자율주행 자동차 운행 시 신도시 도로 네트워크의 교통 흐름 분석

- 자율주행 운행에 대한 시나리오 기반

○ 자율주행시스템 운행 시 신도시 도로 네트워크의 교통흐름의 문제점 도출을 위한 모델링 수행

○ 예상 문제점 도출을 주목적으로 함

제 2 장
자율주행 교통수단의 특성과 상용화 전망

LAND & HOUSING INSTITUTE

제2장 자율주행 교통수단의 특성과 상용화 전망

1. 자율주행자동차의 정의 및 기술 구성

1.1. 자율주행자동차의 정의

○ 「자동차 관리법」 제2조의 제1의 3호에서 정의하고 있는 자율주행자동차의 정의는 다음과 같음

- "자율주행자동차란 운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차를 말한다"[4)]

○ 자율주행자동차는 자동차 스스로가 도로의 교통상황에 맞춰 조향과 가·감속, 차로변경 등 운전에 필요한 조작을 할 수 있어야 함

1.2. 자율주행자동차의 기술 단계[5)]

○ 국제적으로는 미국 자동차공학회(SAE; Society of Automotive Engineering)가 정의한 자율주행 기술 수준 정의의 국제 표준인 SAE J3016을 보편적으로 사용

- SAE J3016에서는 자율주행 기술을 0단계에서 5단계까지 총 여섯 단계로 구분함
- Lv2까지는 운전자가 주도권을 가지고 주행을 책임지고 기술은 보조기능을 수행하며, Lv3부터는 자율주행시스템이 주도권을 가짐

○ 0단계(No Automation) : 운전자가 자동차의 운행에 모든 책임을 지는 비자동화 단계로 항상 드라이브 온(Drive On) 상태를 유지

- 단순히 차선 이탈 경고나 이동 사물 감지 기능 등 시·청각 경고 시스템

4) 「자동차관리법」 (시행 2022.12.11.) 2022년 11월14일 접속함
5) 변완희(2021), 「퓨처라마-미래모빌리티 혁명의 미래」, 크레파스북.

등의 보조시스템이 장착된 차량도 해당

○ 1단계(Driver Assistance) : 차선 유지 및 앞차와의 거리 유지, 일정한 속도로 주행하며 가속·감속 기능 제공하는 운전자 보조 단계

- 차선 유지 기능(Lane Centering)이나 앞차와의 간격을 유지하며 일정 속도로 주행하는 크루즈 컨트롤(Cruise Control) 기능 중 하나만 수행
- 운전자는 자동화 기능의 도움을 일부 받지만 여전히 조작의 책임을 지며, 반드시 운전대를 잡고 있어야 하는 의무(Hands On)가 있음

○ 2단계(Partial Automation) : 2가지 이상의 자동화 기능이 동시에 구현되어 운전자를 보조하는 부분 자동화 단계

- 2단계에서는 차선 유지와 크루즈 컨트롤 등의 기능 등이 동시에 수행
- 운전자는 비상사태를 대비해 항시 교통상황을 주시해야 하는 의무가 있으며, 안전에 대해서도 책임을 짐
- 정해진 조건에서 운전자가 운전대를 잡지 않아도 되는 핸즈 오프(Hands off) 상태

○ 3단계(Conditional Automation) : 운전자의 개입이 없이 조향, 가속 및 감속, 추월이 가능하며, 사고나 교통 혼잡을 피해 주행할 수 있는 조건부 자동화 단계

- 운전자는 요청받아 직접 조작을 해야하는 경우를 제외하고는 운전대와 페달에 손과 발을 올려두지 않아도 됨
- 운전자는 운전대뿐만 아니라 주행환경 역시 주시하지 않아도 되므로 아이즈 오프(Eyes Off) 상태라고 할 수 있음

○ 4단계(High Automation) : 원칙적으로 대부분의 조건에서 운전자는 운전을 할 필요가 없으며, 비상 상황에서도 자동차가 직접 대처를 하는 고수준 자동화 단계

- 자율주행 기능은 운전자가 차량 제어에 개입하라는 요청에 적절히 응하지 못하는 상황에도 스스로 안전한 주행이 가능하지만, 개입요청이 있을 때 운전자는 자동차를 운전할 수 있어야 하므로 핸들이 있음
- 운전자는 잠을 자거나 운전석을 떠날 수도 있어 마인드 오프(Mind Off) 상태라고 할 수 있음

○ 5단계(Full Automation) : 자동차의 자율주행 기능이 모든 도로 및 교통 조건에서 직접 운전을 수행하는 완전 자동화 단계

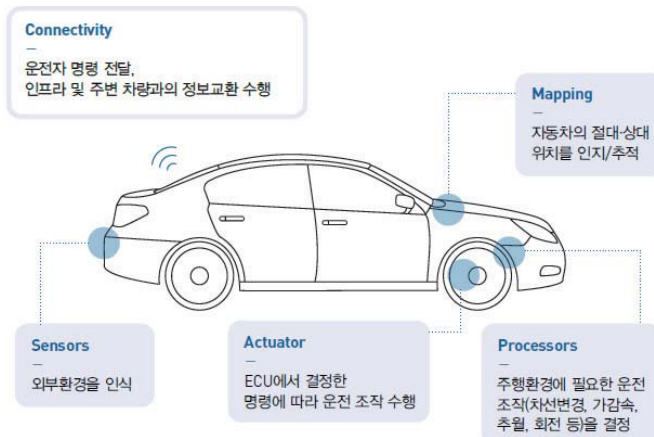
- 사람은 승객의 역할만을 수행하므로 모든 경우에 운전에서 완전히 자유로워서 드라이버 오프(Driver Off) 상태라고 할 수 있음

[그림 2-1] 자율주행 기능 6단계

출처 : 변완희 (2021)

1.3. 자율주행자동차의 기술 구성

○ 자율주행자동차의 핵심 기술에는 센서, 통신 기술, 정밀지도, 위성항법 기술, 인공지능이 있음



[그림 2-2] 자율주행자동차의 기술 구성

출처 : 변완희 외 (2022).

□ 센서와 인공지능

○ 카메라와 라이다(LiDAR), 레이더(RADAR) 같은 센서는 도로 위와 주변 공간에서 차량의 운행을 위해 필요한 각종 정보를 수집하는 핵심 장비임

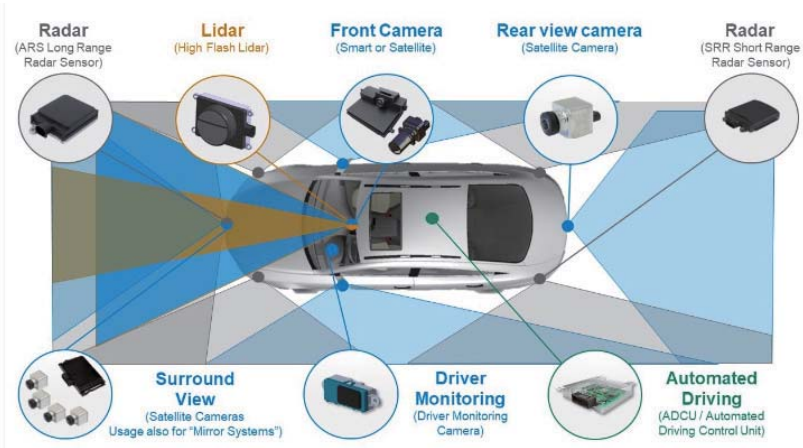
- 도로 상에서 접근하는 다른 차량과 도로 시설물, 신호 등을 인식하여 정보를 받는 역할을 수행

○ 레이더(Radar) : 전파의 반사 특성을 이용하여 거리를 측정하는 장비이며, 멀리 위치한 물체를 파악하는 기능을 수행하지만, 사물을 식별하지는 못함

○ 라이다(Lidar) : 360도 회전하여 100m 미만의 중·단거리에 있는 물체의 형상과 위치를 정확하게 파악할 수 있으나, 눈과 비 등 날씨에 민감하며 가격이 비싼 단점 있음

○ 카메라(Camera) : 렌즈를 통해 시각적으로 주변 사물을 인식할 수 있으며, 질감과 색상 정보를 수집 가능함. 라이다에 비해 가격이 저렴함

○ 인공지능(AI)은 수집된 모든 정보를 조합 및 분석하여 자율운전에 필요한 인지, 판단, 운전 조작을 수행함



[그림 2-3] 자율주행 관련 주요 센서의 개념

출처 : Continental Engineering Service 웹사이트 (2022)

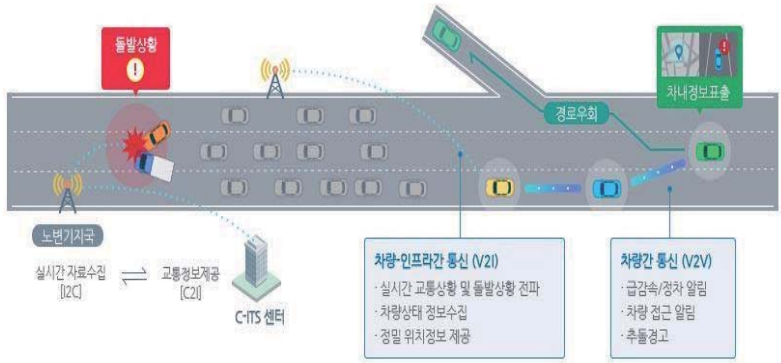
□ 자율주행을 위한 통신 기술

○ 통신 기술인 V2X(Vehicle to Everything) 기술은 차량 간 통신과(V2V: Vehicle to Vehicle), 차량과 도로변 시설(V2I: Vehicle to Infrastructure)과의 통신을 통해 안전한 주행에 필요한 정보를 교환하고, 차량의 노선 재조정 등 도로 교통 네트워크를 효율적으로 관리함

○ 자율주행자동차의 통신은 일반적으로 단독으로 활용되기 보다는 C-ITS와 연계되어 활용됨

○ C-ITS(차세대 지능형 교통시스템)는 주행 중인 차량이 운전자에게 사고 위험이나 교통상황 등의 정보를 실시간으로 제공하며, 주요 제공 정보는 다음과 같음

- 도로위험구간 정보제공, 노면기상정보 제공, 도로작업구간 정보제공, 교차로 위험경고, 우회전 안전 운행 지원, 보행자 충돌방지 경고, 차량추돌 방지 지원, 긴급차량 접근 경고, 차량 긴급상황 경고



[그림 2-4] C-ITS의 V2X 개념

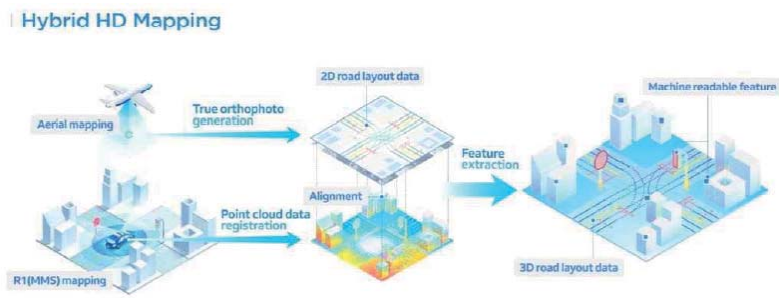
출처 : C-ITS 시범사업 홍보관 웹사이트 (2022)

□ 정밀지도

○ 정밀지도(HD MAP) : 정밀지도는 차선, 연석, 가드레일, 교통신호기 등의 위치, 도로의 선형, 횡경사 및 종단경사 정보, 표지판의 위치 및 정보 등을 담고 있는 고정밀 지도를 말함

○ 정밀지도와 위성항법 기술은 차량의 위치 정확하게 추적하기 위한 정보를 제공함

- 기존 지도에 비해 10배 이상 정밀하며 실제도로 상에서 10~20cm 이하의 오차범위를 가짐
- 야간, 빛의 조건 등 물리적 센서의 잘못된 인지로 인한 안전문제를 보완 가능



[그림 2-5] 정밀지도 개념도

출처 : 변완희 외 (2021)에서 인용(원출처 : 네이버랩스 (2020))

2. 자율주행 교통수단의 현황 및 특성

○ 자율주행을 채용하고 있는 또는 채용할 교통수단은 범위가 점점 확대 중

○ 대표적으로는 자동차 즉 도로 위에서 운행하는 것을 전제로 한 자율주행 자동차가 있음

○ 전 세계적으로 철도, UAM, 선박 등도 자율주행을 채택하기 위해 연구를 수행 중

○ 본 절에서는 도로기반 자율주행 교통수단인 승용차, 택시(공유자동차), 셔틀과 DRT, 버스(BRT)의 대해서 간략하게 살펴봄

◆ 본 연구는 3기 신도시 등 도심에서 운행되는 자율주행 교통수단이 연구 주제이므로 자율주행화물차는 검토 대상에 제외함

1) 개인 승용차와 택시(공유자동차)

□ 자율주행 개인 승용차

○ 자율주행 승용차는 크게 라이다 + 카메라 기반의 차량과 카메라 단독 기반의 차량이 개발되고 있음

- 전자는 대부분의 자동차 제조사들이 채택하고 있는 반면, 후자는 테슬라와 42dot, 토요다가 개발을 진행 중
- 라이다 기반의 자율주행기술은 높은 정확성이라는 장점이 있으나, 라이다의 비싼 가격과 날씨의 영향, 상대적으로 데이터 처리시간이 오래 걸리는 문제점이 있음
- 카메라 기반의 자율주행기술은 가격이 싼 장점이 있으나, 카메라 이미지 처리의 에러로 인한 AI의 잘못된 판단이 아직 문제가 됨

○ 현재 상용화 단계인 자율주행 승용차는 Lv2~Lv2.5 단계이며, 실질적인 자율주행자동차라 하기가 어려움

○ 그러나 주요 제조사들이 2023년부터 Lv3 수준의 자율주행 승용차를 출

시할 것이라 공표함

- ◆ 현대 제네시스는 Lv3 수준의 자율주행 기능을 가진 G90을 2023년에 출시 예정

○ Lv4 수준의 자율주행기능을 가진 승용차는 미국과 중국 등에서는 시험운행에 돌입함

- 미국 GM의 자회사인 크루즈(Cruise)가 2020년 Lv4 자율주행자동차를 테스트 함
- GM 크루즈는 2022년 7월 운전대 없는 자율주행자동차를 발표하였으며, 운행 승인을 요청함

○ 미국 GM과 인텔의 모빌아이, 중국의 지리자동차은 모두 2024년 Lv4 자율주행 승용차를 출시하는 것을 목표라 발표함

[그림 2-6] GM크루즈에서 발표한 운전대 없는 자율주행자동차

출처 : GM Cruise 홈페이지 (2022)

□ 자율주행택시(공유자동차)

○ 자율주행택시와 자율주행공유자동차(카쉐어링)은 장기적으로 통합될 것으로 판단됨

- 운전자가 없고 자율주행으로 운행된다는 점에서 두 수단간 차이가 없어짐

○ 자율주행택시는 완전자율주행의 상용화를 선도하고 있는 교통수단으로, 로보택시라는 이름으로 운행 서비스를 진행하고 있음

○ 다수의 자동차 제조사와 자율주행 관련된 플랫폼 회사의 공동연구를 통하여 자율주행택시 서비스를 상용화하고 있음

- 자율주행택시 대표 기업은 구글 웨이모와 GM크루즈가 있으며, 2022년 미국 캘리포니아 공공시설위원회(CPUC)에서 조건부 운영 허가를 받음[6)]
- GM크루즈는 지정된 공공도로에서 밤10시부터 다음날 아침 10시까지 운영되며 시속 30마일(48km/h)이하로만 운행가능

[그림 2-7] GM크루즈 로보택시

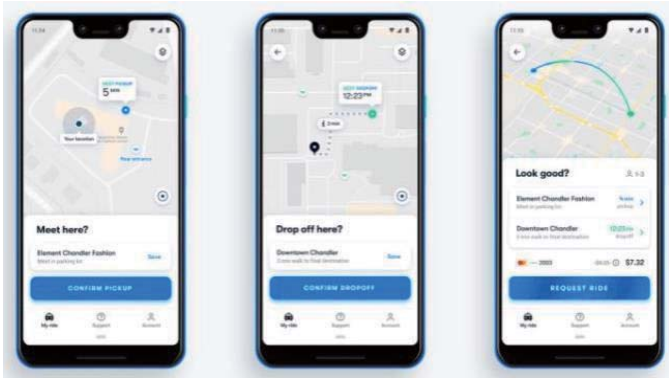
출처 : GM Cruise 홈페이지 (2022)

- 구글 웨이모는 시속 65마일(104km/h) 이하로 주행 가능하며, 운행시간 제한은 없음. 그러나 안개가 끼거나 비가 많이 내릴 때는 운행할 수 없음
- 구글 웨이모의 경우 미국 일반도로에서 2021년 약 230만 마일의 자율주행테스트를 완료함[7)]
- 성공적으로 시범 서비스를 마친 후 상용화 단계를 밟고 있음

6) 글로벌오토뉴스, 채영석(2022.10.11),"자율주행차-21.GM 자율주행 크루즈 어디까지 왔나?", global-autonews.com/bbs/board.php

7) 곽노필(2022.03.02), "구글, 13년만에 유료 자율주행택시 승인 받았다", 한겨레

○ 자율주행택시는 스마트폰 어플리케이션을 기반으로 탑승자가 차량을 호출 및 이용할 수 있으며, 이용자 편의를 위해 운행경로 확인 및 결제서비스 등 다양한 서비스 제공함



[그림 2-8] 스마트폰 어플리케이션 호출 화면 : 구글 웨이모원

출처 : WaymoOne website (2022)

2) 자율주행 대중교통

○ 자율주행 대중교통 서비스는 차량제원과 운행조건을 고려하여 4가지의 서비스로 정의[8]할 수 있음

- 자율주행셔틀 : 저속주행이 가능한 4~8인승 소형차량을 이용하여 도심에서 대중교통 접근성을 높이기 위한 first/last mile 서비스
- 자율주행BRT(aBRT : autonomous Bus Rapid Transit) : 고속주행이 가능한 중대형 차량을 이용하여 전용도로에서 고정노선 위주로 주행하며 정시성을 확보할 수 있는 간선 서비스
- 자율주행DRT(aDRT: autonomous Demand Responsive Transit) : 저속주행의 4~8인승 소형차량을 이용하는 측면에서는 자율주행 셔틀과 비슷하지만, 셔틀과 달리 수요에 따라 노선을 능동적으로 변경함. 또한 교통소외 지역이나 교통약자 서비스에 활용

8) 윤태관 외 (2019), 「자율주행기반 대중교통체계 구축방안 연구 : BRT 및 셔틀 도입을 중심으로」, 기본 19-17, 세종: 국토연구원.

- 자율주행지선 : 저속주행의 중대형차량을 기반으로 도심의 단거리 고정 노선 서비스를 제공

○ 위의 4가지 서비스 중 첫 3가지 서비스는 현재 활발히 시범사업이 진행 중이며, 자율주행지선 서비스는 상대적으로 시범서비스가 늦음

◆ 서비스 특성 상 일반 차량과 혼입이 많아 안전문제 등의 이유로 시범 서비스가 늦어짐

□ 자율주행셔틀

○ 캠퍼스, 아파트단지, 공원 등에 순환형으로 운행되며, 타 대중교통과의 환승을 위한 First 및 Last mile 서비스 등 결절 구간을 연결하는 역할을 수행함

○ 운행거리가 짧고 저속(평균 25km/h 이하)으로 운행하며, 차량 당 탑승 인원은 평균 5~10명 정도임

○ 자율주행셔틀은 각 제작사별로 다양한 디자인으로 제작된 소형버스에 자율주행 관련 센서(라이다, 레이더, 카메라 등)를 장착하여 개발함

○ 각 회사별 또는 지자체는 관제센터를 만들어 운행정보를 공유하고 있으며, 버스 상태 및 운행정보, 승객 정보 등의 정보를 실시간 모니터링을 하고 운행 중 발생할 수 있는 변수에 대응하고 있음

[그림 2-9] 자율주행셔틀 관제센터 : 경기도 자율주행센터

출처 : 경기도자율주행센터 홈페이지 (2022)

○ 온라인 및 스마트폰 어플리케이션을 이용하여 예약 및 승차정보를 제공함

- 서울시 청계천 일대를 운행 중인 42dot의 셔틀 서비스는 어플리케이션(TAP)을 통해 예약 가능하며 셔틀 정류장에 키오스크를 설치하여 운행정보를 제공

[그림 2-10] 서울시 청계천의 자율주행셔틀 및 키오스크

출처 : 서울신문 온라인뉴스 (2022)

□ 자율주행DRT(aDRT)

○ DRT는 정해진 노선 안에서 사용자의 수요에 따라 운행 구간과 운행 횟수, 시간 등을 탄력적으로 운행할 수 있는 교통수단임

- 대중교통이 부족한 신도시에서 초기 교통수요에 대응하기 위해 도입하여 운행할 수 있으며, 대중교통 이용이 적은 농어촌 및 산간 지역에도 활용 가능
- 고정노선을 운행하지 않지만, 인근 버스정류장을 이용객 탑승 장소로 지정하여 탑승시키고 목적지까지 이동함
- 운행 중 동일한 경로 상에 예약이 있을 경우 경유지가 추가되며 합승함

○ 자율주행 기능이 탑재된 aDRT는 테스트 단계로 국내에서는 판교 로보셔틀이 테스트 운행 중에 있음

- 로보셔틀은 현대자동차의 쏠라티 기반 Lv4 자율주행차량으로차로 판교 테크노3사거리를 중심으로 반경 540m 구간에서 시범 운행을 수행함

- 세종특별자치에서도 동일한 차량 모델이 정부청사와 국립세종수목원 사이 6.1km 구간에서 시연 및 테스트 운행함

[그림 2-11] 수요응답형 aDRT 서비스(현대자동차 로보셔틀)

출처 : 현대차뉴스룸 (2021)

□ 자율주행버스/BRT(aBRT)

○ 자율주행버스는 정해진 고정노선에서(버스전용도로, BRT도로, 자율주행 전용도로 등) 주행하고 버스정류장에서 이용객이 승·하차함

○ 차량 간의 통신(V2V), 차량과 교통인프라 간의 통신(V2I)을 통해 선행 정보를 공유하고 안전한 주행이 가능함

○ 자율주행 BRT는 안전운행을 위해 차량센서에만 의존해 주행하는 다른 교통수단과 달리 C-ITS (차세대 지능형교통시스템)와 연계하여 악천후, 돌발상황 등 어려운 주행환경에서도 완성도 높은 자율주행이 가능함

○ 자율주행버스의 핵심이라 할 수 있는 C-ITS는 차량 · 보행자 · 교통인프라 등 모든 것을 연결하여 다양한 정보를 차량에 제공함으로서 교통사고 예방 및 완벽한 자율주행을 구현함

- 보행신호 및 보행접근, 포트홀, 승강장 혼잡, 위치기반 교통정보, 위험구간, 무단횡단 보행자 접근, 터널 사고, 추월차로 통과 감지 등을 위한 정보를 제공

○ 자율주행 BRT (또는 버스)는 세계 각국에서 테스트베드를 만들어 실증 테스트 및 시범 운행을 진행하고 있음

- 국내에서는 국토교통부와 한국교통연구원에서 세종시의 BRT구간에서 시범운행을 하였으며, 서울시와 SKT가 서울 상암동 디지털미디어시티에서 시연 함

국토부-한국교통연구원(세종시)

서울시-SKT(서울 상암 DMC)

[그림 2-12] 자율주행버스 실증 사례

출처 : (좌) 국토부 보도자료(2021), (우) SKT뉴스룸(2019)

[그림 2-13] 자율주행버스 관제센터 : SKT

출처 : SKT뉴스룸(2021)

3. 자율주행자동차 상용화 전망

○ 우리정부는 2022년 9월에 발표한 '모빌리티 혁신 로드맵'에서 2027년까지 Lv4 수준의 완전자율주행자동차의 상용화를 제시함[9)]

- 2025년까지 고속도로에서의 부분자율주행(Lv3) 구현과, Lv3 기반의 자율주행 카셰어링 도입
- 버스와 셔틀 등 자율주행 대중교통수단의 출시 역시 제시
- 2030년까지 도심 완전자율주행 구현, 주차장 원격제어, 자율주행 택배 등을 구현

○ 그러나 현실적으로 2025년까지 단순히 Lv3 수준 차량의 출시가 아닌 교통수단의 역할을 충실히 할 수 있을지에 대해서는 고민이 필요

○ 이에 국내·외의 자율주행자동차의 시장 전망을 살펴보고, 자율주행자동차의 실질적인 상용화시기를 살펴봄

□ 미국 미네소타 교통국(MnDOT)

○ 미국 미네소타 교통국은 2019년에 2040년까지 미네소타주의 CAV(Connected Automated Vehicle)보급 및 상용화 전망에 대한 4가지의 시나리오를 제시

○ 미네소타주는 2040년까지 최소 15%의 차량이 Lv4 수준의 자율화를 이룰 것이며, 제한된 범위에서 자율주행 셔틀이 운행될 것으로 전망

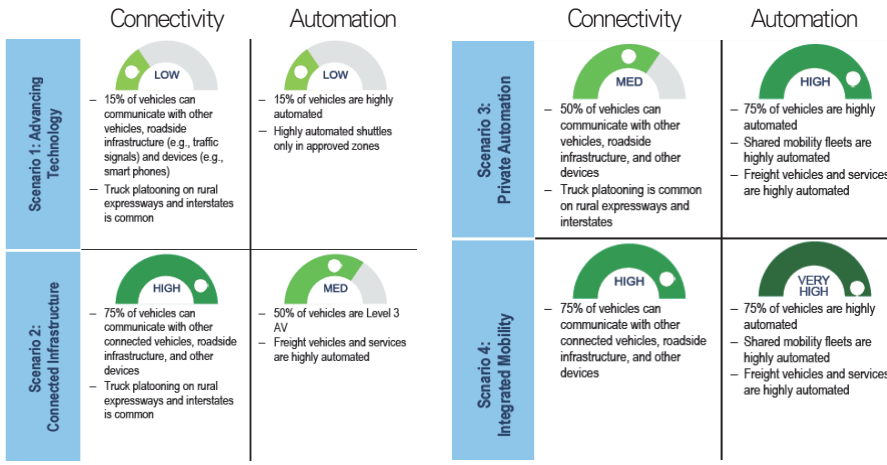
○ 그리고 높은 연결성을 달성하기 위해 공공기관의 역할이 중요함을 강조

○ 시나리오를 살펴보면 시나리오 1에서 4에서 연결성(Connectivity)과 자율화(Automation) 비율을 각각 15%에서 최대 75%로 설정함

- 자율화만 놓고 보면 시나리오 1에서는 15% 정도의 차량이 높은 수준의 자율화(Lv4)가 되고, 자율주행셔틀은 검증된 지역에서만 운행 가능
- 시나리오 2에서는 50% 정도의 차량이 Lv3 수준의 자율화가 이루어지고, 화물차량과 배송서비스의 자율화가 이루어짐

9) 국토교통부(2022), 「미래를 향한 멈추지 않는 혁신, 모빌리티 혁신 로드맵」. 정부보도자료.

- 시나리오 3에서는 75%의 차량이 높은 수준의 자율화(Lv4)가 되고, 공유차량 서비스 역시 자율화가 이루어짐
- 마지막으로 시나리오 4에서는 자율화 측면에서는 시나리오 3과 차이가 없으며, 연결성 측면에서 75% 정도의 차량이 다른 차량이나 도로변 인프라와 상호 통신을 함



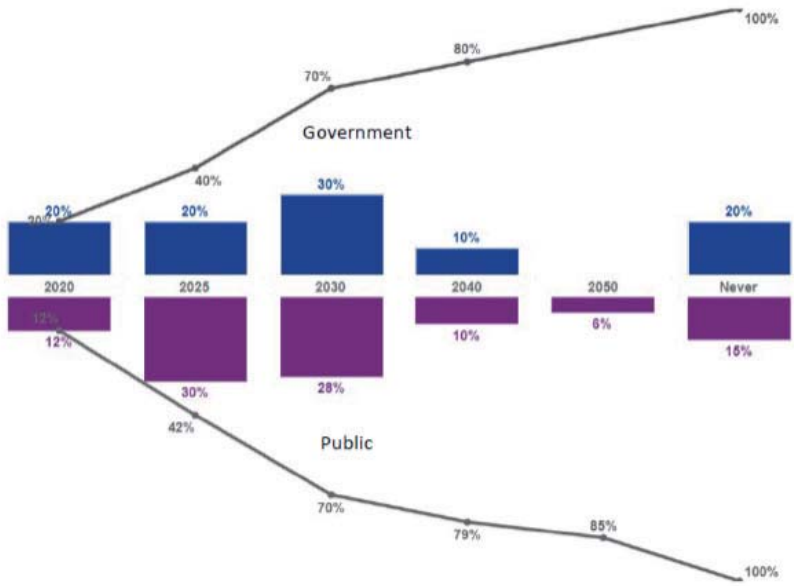
[그림 2-14] 미국 미네소타주의 CAV 전망(2040년 기준)

출처 : MnDOT (2019)

□ 글로벌 컨설턴트의 전망

○ 미국의 컨설팅사인 Delloite의 자율주행관련 보고서에 따르면 정부관계자와 관련업계일반인 모두 약 70% 정도는 2040년 정도면 완전자율주행(Lv4)이 도로를 완전히 점령할 것으로 전망

- 정부기관과 일반인 사이에 자율주행 상용화 시기에 대한 큰 차이는 없음
- 정부 관계자 20%와 일반인 15%는 완전자율주행이 완전히 이루어지긴 어렵다고 믿음
- 미네소타주의 가장 긍정적 전망이 2040년까지 차량의 75%가 Lv4 자율주행이 이루어지는 것을 고려할 때 대단히 긍정적인 전망



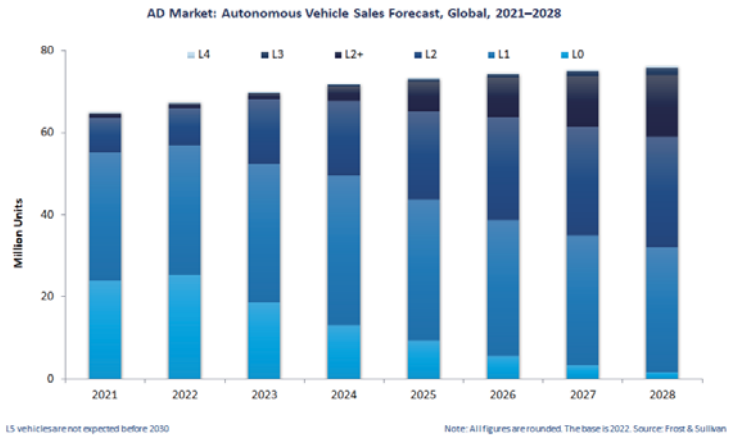
[그림 2-15] 정부기관과 관련업계의 자율주행 상용화 전망(Deloitte)

출처 : MnDOT (2021)

○ 미국의 컨설턴트사인 Frost & Sullivan[10]은 2022년 보고서에 따르면 2028년까지도 자율주행이라할 수 있는 Lv3과 Lv4 수준의 자동차 판매대수는 전세계적으로 천만대 수준으로 전망

– 2022년 기준 전세계 자동차 판매대수가 8,865만대이며, 이는 2028년경에는 전체 판매대수의 약 10%가 Lv3 이상의 자율주행이 가능한 차량일 것으로 전망

10) Kumar, D. M. (2022), "Automakers Look to Vision-based Systems as Key Enablers for ADAS and Autonomous Driving Applications", Frost&Sullivan website, accessed on December, 19, 2022.

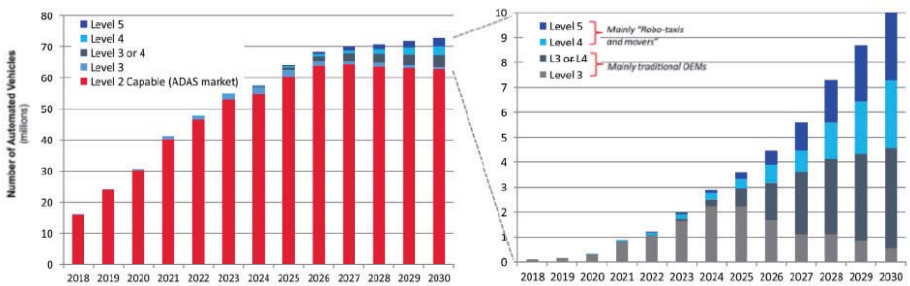


[그림 2-16] 자율주행자동차 글로벌 판매전망 :2021-2028 (Frost & Sullivan)

출처 : Kumar (2022)

○ 영국에 기반을 둔 S&P Global 산하의 IHS Markit은 2020년도 발간한 자율주행자동차 판매전망 보고서[11]에서 2030년까지 전세계 시장에서 약 1,000만대 정도가 Lv3 이상의 자율주행 기능을 가진 자율주행자동차일 것으로 전망함

- 이중 Lv4 이상의 자율주행자동차는 550만대 정도이며, 대부분이 로보택시와 같은 공유 자동차일 것으로 전망



[그림 2-17] 자율주행자동차 글로벌 판매전망 :2018-2030(IHS Markit)

출처 : IHS Markit (2020)

11) IHS Markit (2020), *Autonomous vehicles whitepaper*, IHS Markit, London, UK, viewed 19 October 2021.

○ 우리나라의 경우 2025년부터 큰 폭으로 성장하고. 2030년경에 54.1% 정도의 차량이 Lv3 이상의 기능을 보유 예상(KDB미래전략연구소, 2022)[12]

- Lv4 수준의 자율주행자동차의 판매와 도로상에서의 운행은 2030년까지도 많지 않으리라고 전망함

○ 해외의 주요 컨설턴트는 자율주행자동차 시장을 긍정적으로 보고 있음

- 2028년~2030년경에는 전 세계적으로 Lv3 이상의 자율주행자동차가 약 1,000만대 정도의 판매될 것으로 예측
- 다만 Lv4 이상의 완전자율주행자동차(Highly Automated)의 경우 전망이 다소 엇갈리고 있음
  - ◆ 긍정적 전망의 경우 500만대 수준(IHS Markit)이나, 여전히 도로상에서 실 운행은 거의 없다고 판단하기도 함(Frost & Sullivan)

□ 호주 Austroads[13]

○ 호주 정부의 산하기관인 Austroads는 자율주행자동차[14]의 장래 판매전망을 자율주행자동차의 용도에 따라 제시함

- ◆ Austroads에서 정의하는 자율주행자동차는 Highly Automated로 표현되며, Lv3와 Lv4가 혼재되어 있으나 Lv4가 다수인 상태를 의미함

○ Austroads의 예상 시나리오에 따르면 자율주행자동차는 개인 승용차와 공유차량에서 먼저 도입되며, 2025~2030년 사이에 실질적으로 상업화가 이루어질 것으로 전망

○ 이후에 자율주행 대중교통수단과 소형 화물차, 대형화물차 순으로 점차 확장될 것으로 전망

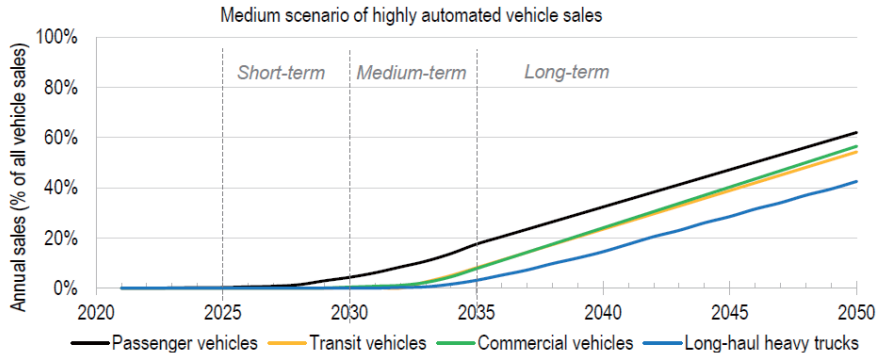
○ 2030년 이전에는 자율주행자동차의 판매는 전체 차량 판매량의 5% 이내 전망

12) 박상현(2022), "자율주행차 글로벌 산업 동향", 「이슈분석」, KDB미래전략연구소.

13) Austroads(2022a), *Minimum Physical Infrastructure Standard for the Operation of Automated Driving Part B : Scenarios for Potential Availability and Usage of Different Levels and Types of Automated Driving*, Research Report AP-R665B-22.

14) 다수가 Lv4 수준이면 Lv3와 혼재된 상태를 가정함

○ 2046년에는 승용차의 경우 전체 자동차 판매량 중 50%가 Lv3 이상의 자율주행기능을 가진 차량일 것이며, 2050년에는 60% 수준에 이를 것으로 전망



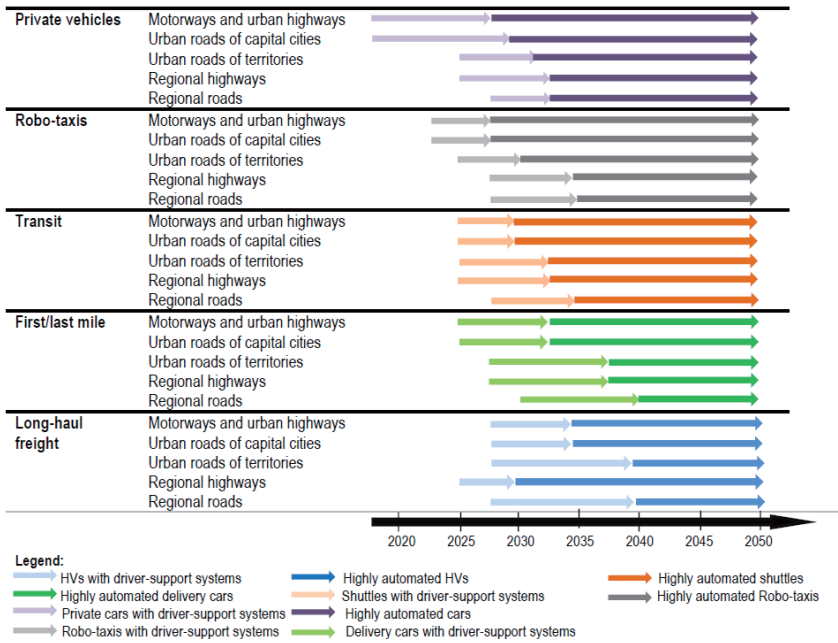
[그림 2-18] 자율주행자동차 판매전망(호주 및 뉴질랜드)

출처 : Austroads (2022a)

○ 이를 바탕으로 자율주행자동차의 혼입률을 추정하면 2030년에는 1% 수준, 2035년 8%, 2040년 15%, 2050년 35% 수준일 것으로 전망

○ 그리고 [그림 2-19]에서 보다시피, 2030년 이전에 승용차와 공유차량, 대중교통은 고속도로와 주요도시의 도심도로에서 운행을 시작할 것이고, 2035년경에는 모든 종류의 도로에서 운행할 것으로 전망

◆ 대중교통의 경우 정책, 인프라, 운영 등에 대한 제약과 지원 여부에 따라 도입이 빠르게 진행될 수 있으며, 2040년에 약 80%의 신규 판매가 자율주행 대중교통일 수 있음



[그림 2-19] 자율주행자동차의 상업적 판매 전망(호주 및 뉴질랜드)

출처 : Austroads (2022a)

□ 자율주행자동차 상용화 전망 소결

○ 테스트베드와 같은 기술 및 상용화 실증의 단계가 아닌 일반인이 구입하여 일상에서 이용할 수 있는 상용화는 단계는 실증과는 차이가 있음

○ 해외 비즈니스 컨설턴트와 기관들의 전망을 종합하면 다음과 같음

- 자율주행자동차의 상용화는 2027~2028년경에 이루어질 것으로 전망
- 2040년에는 10~30% 정도의 판매차량이 자율주행 Lv3이상의 기능을 보유 전망. 그러나 다수가 Lv3일 것이며, Lv4는 적을 것으로 예측
- 2050년 정도면 자율주행자동차의 혼입률이 35% 수준에 도달할 수 있으나, 여전히 Lv3가 Lv4보다는 다수를 차지할 것으로 전망
- 승용차와 로보택시와 같은 공유차량을 중심으로 자율주행 교통수단이 확산될 것이며, 대중교통과 화물차는 단계적으로 도입될 것임

◆ 단, 대중교통의 경우 인프라와 정책적 지원 여부에 따라 자율주행의 도입이 더 빨리 이루어질 수 있음

○ 2020년 이전의 예측에 비해 상용화와 활성화가 늦어지는 경향이 있음

◆ 기존에는 2030년경에 AV 차량 비율은 20%에 도달하고 2050년경에는 도로 위 차량의 50%를 차지할 것으로 전망

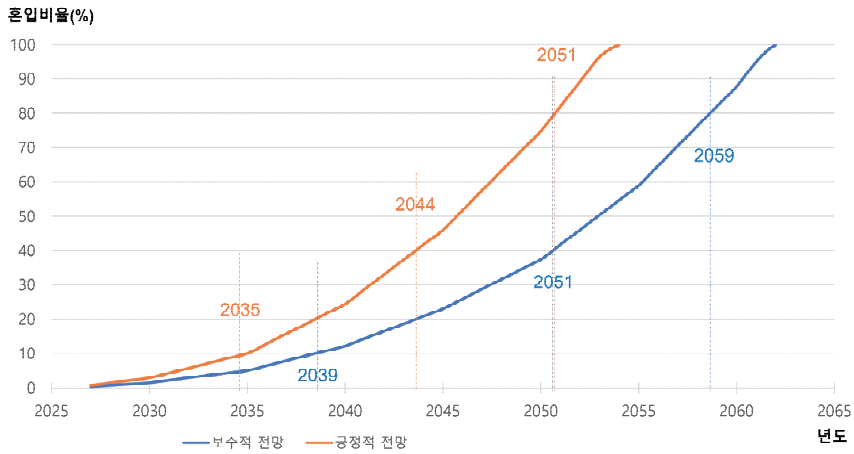
○ 국내의 자율주행자동차 혼입비율을 현대와 기아 등의 국내기업의 자율주행자동차의 생산 및 출시 전망과 해외 전망, 국내 자동차 판매대수, 국내의 신기술 적응수준을 기반으로 전망함

- 일반인이 구입할 수 있는 자율주행자동차는 2025년 정도에 시제품 생산
- 실질적인 판매는 2027년부터 이루어질 것으로 예상

◆ 자율주행자동차의 판매가격에 따라 큰 변화가 예상

◆ 국내의 동향으로 볼 때 셔틀과 대중교통, 로보택시가 1~2년 정도 더 빨리 상용화 될 것으로 전망

- 2030년 정도면 전체 등록 자동차 대비 약 2%~4% 수준 전망
- 2035년 또는 2029년 정도에 10% 수준 예상
- 2044년 또는 2051년 정도에 40% 수준 예상
- 2051년 또는 2059년 정도에 80% 수준 예상



[그림 2-20] 국내 자율주행자동차 혼입비율(MPR) 전망

제 3 장
자율주행 교통수단 운영을 위한 물리적 인프라 개선 항목 및 방향

LAND & HOUSING INSTITUTE

제3장 자율주행 교통수단 운영을 위한 물리적 인프라 개선 항목 및 방향

1. 기존연구 분석을 통한 물리적 인프라 개선 항목 도출

○ 본 장에서는 자율주행 교통수단을 위해 필요한 인프라관련 ①연구를 위한 전제 조건을 살펴보고, ②기존연구를 통해 필요한 인프라를 도출하고, 본 연구의 목적에 맞도록 ③물리적 인프라를 도출한 후 ④최적화를 위한 설계 방안, ⑤단계별 적용 시기를 제시함

1.1. 연구를 위한 전제

□ 현시점에서 자율주행자동차의 상황 인지 능력의 한계

○ 자율주행자동차는 주행 중 도로의 차선, 교통안전표지나 노면표시를 통해 도로의 구조를 이해하고, 출발, 감가속, 정지, 회전 등의 운전을 수행함

○ 그리고 자율주행자동차는「도로교통법」등 법률이 정한 규칙과 기타 안전과 관련한 각종 규정을 정확하고 엄격하게 준수하도록 학습되고 프로그래밍 되어 있음

○ 자율주행자동차가 각종 센서에 기반하여 사물 혹은 사람을 인지하는데 있어 기계적 실패 혹은 오인지를 할 수 있는 환경이 발생할 수 있음을 고려하여야 함

□ 자율주행 교통수단의 운행 환경에 대한 전제

○ 자율주행 교통수단의 활성화는 기존 개인차량 중심의 교통이 아닌 차량 공유를

기본 전제로 한 다목적 통행으로의 변화에 이에 따른 도로 및 수단 용량의 변화가 동반된다는 전제가 필요

- 차량 공유에 의한 다목적 통행은 전체 차량 대수는 감소하지만, 차량이 주차장에 정차하는 대신 지속적으로 이동하는 상황에 대한 가정이 필요

○ 자율주행을 위한 인프라에 대한 명확한 요구항목과 기준에 관한 연구는 아직 진행 중이며, 따라서 관련 연구결과와 자율주행 기술의 발전에 따라 변화될 가능성이 큼

- 기존 도로 선형 설계기준은 운전자의 반응속도와 차량의 성능을 기준으로 설계
- 그러나 자율주행 교통수단의 경우 센서의 성능이 중요하며, 센서의 반응 및 처리 속도는 인간의 반응 및 처리 속도보다 우수함

○ 자율주행에 관한 연구는 자율협력주행(Cooperated Automated Driving)을 전제로 진행되고 있으며, 이를 위한 인프라 시설에 대한 고려가 필요

1.2. 기존연구 분석

○ 자율주행 교통수단의 안전한 운행을 위해 고려가 필요한 환경에 대한 명확한 정의와 기준은 아직 없으며, 계속 연구가 진행 중이며 주요 연구를 살펴봄

1) 국토연구원(2018년)[15]

○ 분석과 결과 도출을 위한 기본 시나리오를 다음과 같이 정의함

- 자율주행 상용화는 2020년~2025년에 이루어질 것으로 판단함
- 자율주행 레벨은 3단계 이상 가정
- 교통수단 측면에서 개인용과 공유서비스(DRT 포함)로 구분
- 고수준의 자율주행이 한정된 공간에서 이루어지는 경우(ES방식)와 부분 자율주행이 광범위한 공간에서 이루어지는 경우(SE 방식) 구분

15) 김광호·박종일·윤태관(2018), 「자율주행차 상용화를 고려한 도로부문 대응과제 : 도로 설계 및 계획을 중심으로」, 국토연구원, 수시 18-16.

- 자율주행 방식은 영상과 인공지능에 의존하는 방식 1(AV1)과 고정밀 센서와 HD Map에 기반을 둔 방식 2(AV2)로 구분
- 협력주행의 수준은 도로 인프라가 제공하는 V2I 정보가 단순히 탑승자에게 정보제공을 위해 사용(V2I_1)되는가, 차량제어에 사용(V2I_2)되는가에 따라 2단계로 구분

○ 2가지의 단기 시나리오로 가정

- 개인 이용 : SE 방식-AV1-V2I_1
  - ◆ 자율주행이 개인적으로 이용되는 시나리오로 부분 자율주행이 광범위한 공간에서 이루어지며, 자율주행 기술은 영상과 인공지능에 의존함
  - ◆ 협력주행을 위한 시설은 정보제공을 주목적으로 하므로, 도로 인프라의 중요성이 낮음
- 공유서비스 : ES 방식-AV2-V2I_2
  - ◆ DRT와 같은 공유서비스에서 자율주행을 도입하는 경우 고수준의 자율주행이 한정된 범위에서 이루어지며, 자율주행 기술은 고정밀 센서와 HD Map에 대한 의존도가 높음
  - ◆ 그리고 도로 인프라에서 제공하는 정보는 차량제어를 위해 사용되므로 도로 인프라의 중요성이 높음

[표 3-1] 자율주행을 위해 개선이 필요한 인프라 항목(국토연구원 연구)

구분	일반	공유서비스
운행 모드 경고 시스템(통신인프라)	○	○
안전 정차 공간 및 휴게소	○	○
휴게소 유도안내시설	○	○
자율주행 지원 주차시설	○	○
HD Map	△	○
승·하차 시설(통신시설 포함)	△	○

출처 : 김광호 외 (2018)

2) McKinsey & Company(2019년)

- McKinsey & Company 는 2019년 보고서에서 자율주행이 공유교통으로 역할을 할 때 실질적으로 미래 교통의 혁신으로 기능할 수 있으며, 시장에서 성장할 수 있다고 주장
- 자율주행자동차 역시 일반차량과 동일하게 차선, 노면 표지 등의 지속적인 관리와 보수가 필요하고, 현재의 시절을 대부분 공유할 수 있음
- 공유자율주행차를 위해서는 공유차량의 특성상 ①충전과 대기를 위한 공간시설, ②승객의 승하차를 위한 공간, ③보도변 공간 변화가 필요하다고 주장

3) EU MANTRA Project(2020년)[16]

- EU의 경우 MANTRA 프로젝트를 통해 다음의 물리적, 디지털 인프라의 항목에 대한 개선이 필요할 것이라 결론 내림([표 3-2])
  - 물리적 인프라 중 주요 항목은 도로선형, 속도제한, 길어깨(좌·우회전용 유도차로), 노면 표시, 교통신호, 도로변 시설 등이 있음

16) EU EIP (2020), A*ttributes of physical and dgital infrastructure for highly automated driving from EU EIP amd MANTRA*, available at : www. its-platform.eu.

[표 3-2] 자율주행을 위한 개선이 필요한 인프라 항목(EU MANTRA 프로젝트)

구분	인프라 유형	속성
Road	Physical	Static
Speed Range	Physical	Static
Shoulder or Kerb	Physical	Static
Road markings	Physical	Static
Traffic signs	Physical	Static
Road Furniture	Physical	Static
Traffic	-	Dynamic
Time	-	Dynamic
Weather Conditions	-	Dynamic
HD map	Digital	Static
Satellite Positioning	Digital	Static
Communication	Digital	Static
Information System	Digital	Static
Traffic Management	Digital	Dynamic
Infrastructure Maintenance	Physical/Digital	Dynamic
Fleet Supervision	Digital	Dynamic
Digital Twin of Road Network	Digital	Dynamic

출처 : EU EIP (2020)

4) Austroads(2022년)[17]

- ○ 호주의 정부산하 기관인 Austroads의 자율주행자동차와 일반차량이 같이 운행하는 시기의 물리적 인프라의 변화와 투자에 대한 연구를 수행하고 전망을 제시함
- ○ 자율주행자동차의 도입이 Lv3, Lv4/5로 단계적으로 이루어지듯이 도로 인프라 역시 이에 맞춰 점진적으로 이루어 질 것으로 전망
- ○ 그리고 기본적으로 Lv3를 지원하는 인프라는 Lv4/5를 위해서도 유용할 것으로 전망
- ○ 자율주행자동차 100%인 시대가 오기 전까지는 자율주행자동차와 일반 자동차가 같이 운행하는 상황을 고려하여 인프라에 투자가 이루어져 함
  - V2X 등의 디지털/통신 인프라와 달리 도로의 물리적 인프라는 안전을 위해 일반 자동차의 운전을 고려하여 급격한 변화를 추구하기 어려움
- ○ 자율주행자동차의 실질적인 상용화 전망을 고려하여 인프라 개선이 이루어져야 하며, 다음의 3가지 단계별 시나리오 제시
  - 2030년까지는 자율주행자동차와 일반자동차를 모두 포괄할 수 있는 인프라 중심으로 개선
  - 2030년~2040년까지는 보다 자율주행자동차를 위한 인프라를 개선
  - 2040년 이후에는 자율주행자동차를 위한 전용 인프라에 대한 제공

17) Austroads(2022b), *Minimum Physical Infrastructure Standard for the Operation of Automated Driving Part B : Scenarios for Investment in Physical Road and Roadside Infrastructure,* Research Report AP-R665C-22.

[표 3-3] Austroads의 자율주행을 대비한 물리적 인프라 투자 대상

구분	도로 유형	활용대상	개선 시기	투자등급†	디지털 인프라에 의한 개선 가능성	센서장비에 의한 개선 가능성
도로표지판 및 노면 표시	모든 도로	모든 자율주행차	~2030년	Class 1	AV/HD map에 의해 가능성 있음	가능성 있음
공사구역 표지	모든 도로	모든 자율주행차	~2030년	Class 1	V2X에 의해 가능성 있음	가능성 있음
교통 신호 및 스쿨존 표지	도심 도로	모든 자율주행차	~2030년	Class 1	V2X와 HD map에 의해 가능성 있음	가능성 있음
보도 연석 및 보도 관리	도심 도로	로보셔틀, 로보택시, 보도 주행 배송 차량	~2040년	Class 2	N/A	N/A
무신호 입체 인터체인지	외곽도로	모든 자율주행차	~2040년	Class 2	V2X와 HD map에 의해 가능성 있음	가능성 있음
안전 정차구역	고속도로	모든 자율주행차	~2040년	Class 2	N/A	N/A
교량 및 도로포장	모든 도로	모든 자율주행차	2040년~	Class 3	V2X와 HD map에 의해 가능성 있음	가능성 있음
자율주행 대중교통(버스) 전용차로	도심 도로	대중교통수단, 공유 로보택시	2040년~	Class 3	V2X에 의해 가능성 있음	높은 가능성
가변 자율주행 화물차 전용차로	고속도로	장거리 대형 화물차	2040년~	Class 4	V2X에 의해 가능성 있음	높은 가능성
원격 자율주행차 주차시설 및 교통허브	도심도로	승용차 및 로보택시	2040년~	Class 4	N/A	N/A

출처 : Austroads (2022b)

† Class 1 : 기존 시설의 개선 수준으로 ADAS(자율주행보조기능)와 ADS(자율주행기능) 모두에 도움이 되는 시설이지만, 자율차 100%인 시대가 오면 더이상 필요하지 않을 시설

Class 2 : 자율주행자동차를 위해 필요한 새로운 시설이지만, 일반차 이용자들에게도 도움이 되는 시설

Class 3 : 자율주행차의 운행과 확장을 위해 개선되어야 하는 시설

Class 4 : 오직 자율주행차만을 위해 필요한 시설

5) KAIA R&D(2022~)[18]

○ 우리 정부는 2021년부터 건설기술연구원을 주관기관으로 자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술개발에 대한 R&D를 수행 중[19]

- 2021년(~2025년)부터 진행 중이며, 현재 개념 정립과 미래도로의 설계 요소를 도출하고 있음
- 연속류(고속도로)와 단속류(도심도로)의 상황을 모두 고려하고 있음

○ 주요 검토 요소는 시거(시야거리), 평면선형 등 도로설계 요소와 자율주행전용도로, Flex Zone 등 도로 및 도시 공간의 새로운 시설물임

○ 계속 진행 중인 연구이며 명확한 결과는 아직 도출되지 않음

- 단, 도로설계 요소의 경우 도심도로에서의 도입은 현재는 고려하지 않으며, 자율주행 100%가 아닌 경우는 도입이 어려운 것으로 판단함
- 전용도로와 Flex Zone의 개념 및 기술적 방향에 대해서 연구를 진행 중

[표 3-4] KAIA R&D의 미래도로 설계 고려 요소

구분	주요 항목	적용조건
도로선형 설계요소	시거	전용차로나 자율주행 100% 때 적용
	평면선형(곡선반지름, 차로폭 등)	
	종단선형	
	횡단선형	
도로공간 구성요소	전용차로	일반차와 자율차 혼입시 적용
	Flex Zone	
	교차로설계	
	차량정차 및 환승시설	

출처 : 윤덕근 (2022b)

18) 윤덕근 (2022 b), 「자율주행시대 도로인프라 변화방향」, 서울연구원 세미나 발표자료. 2022년 12월 01일 개최.

19) 윤덕근 (2022 a), 「자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발」, 국토교통부 보고자료.

6) 기타 연구

(1) 자율주행을 위한 도로 기하구조 설계 최적화[20)]

○ Aryal(2020)은 정지시거모델 기반으로 설계된 AASHTO 모델(일반차량 기준)을 자율주행차에 적용 및 개선하여 자율주행자동차에 최적화된 도로의 기하구조 설계기준을 제시함

- 차로폭, 평면 및 종단 선형, extra widening, setback distance, 교차점 등

○ 이를 위해 자율주행차 기술과 작동 원리, 일반 차량과의 중요 차이점, 자율주행기술에 대한 기하학적 설계 요구사항 등에 대한 문헌조사를 거쳐 최적화된 설계 변수(parameter) 도출

[표 3-5] Aryal의 자율주행을 위한 검토 대상 인프라

구분	도로 디자인의 주요 항목		AV를 위한 검토 항목
도로선형 설계 요소	시거	정지시거	O
		추월시거	O
	도로폭		O
	평면곡선		O
	종단곡선		O
	경사도		X
	교차로		X

출처 : Aryal (2020)

20) Aryal. P.(2020), *Optimization of geometric road design for autonomous vehicle*, Master thesis, KTH Royal Institute of Technology.

(2) 자율주행 지원을 위한 기반시설 개선 고려항목[21)]

○ Liu et al(2019)는 영국 고속도로청에서 발간한 네트워크 관리 매뉴얼을 참고하여 도로 기반시설을 5개 부문으로 분류하고, 기존연구를 참고하여 기하구조 개선 시 중점적으로 고려해야 하는 12개 세부 요소 도출

[표 3-6] 기반시설 개선 시 고려사항

구분		고 려 사 항
통신	표지판 및 노면 표시	·글로벌 표준화 등의 균일한 도로 표시 ·가독성 향상을 위한 유지관리기준 개선 및 모니터링 시스템
	도로 이벤트 정보	·교통사고 및 도로 공사에 대한 실시간 정보 제공을 위한 도로변 디지털 통신시스템
	디지털 통신	·도로 내 및 도로 위 센서 ·모바일 네트워크(4G/5G), Wi-Fi 기반 시설, 광섬유 케이블
포장	포장 구조 (포장재의 구성)	·내구성 강화를 위해 강도 높은 포장재 사용(AV 전용차로) ·포장층(surface layer)에 대한 유지보수 빈도 확대
	노면	·정지거리 및 마찰 계수 설계 기준 완화
구조	주차장	·특정 공간(최상층)은 자율주행차량 전용 주차공간으로 조성하고, 자율주행 차량 증가 추세에 따라 저층에 주차 또는 충전 공간으로 전환
	충전소	·단기 : 일반 주유소에 충전기 확대 설치 ·장기 : 주행하면서 충전이 가능한 무선 충전 도로 설치
	대피공간	·자율주행 특성을 반영해 현재 대피공간의 설계기준 및 설치 간격 등에 대한 재검토
	회전교차로	·자율주행으로 인해 안전성 측면에서 신호교차로가 더 안전할 수 있다는 측면과, 원활한 차량 흐름 측면에서 회전교차로가 더 효율적이라는 상반된 의견이 있음 ·지역의 교통 특성에 맞춰 도입한다면 자율주행과 병행했을 때의 이점에 따라 설치가 확대될 것으로 예상됨
	교량	·자율주행 트럭의 군집주행 증가를 대비하기 위한 설계기준 보완
지반	지반(Geotechnical)	·절토 및 성토를 통해 종단경사 감소
배수	배수	·(높은 우선순위로) 배수 기반시설의 설계 및 유지관리 체계 개선

출처 : Liu et al.(2019)의 자료를 기반으로 저자 작성

21) Liu et al.(2019), "A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles(CAVs)", *Journal of Physics: Conf. Series* 1187.

○ 자율주행자동차의 점유율 변화를 고려하여 3단계 기반시설 도입 시나리오 설정

○ 1단계 (현재) : 2030년까지는 Lv2 수준의 자율화가 지배적일 것으로 예상

- 현재 도로 네트워크의 유지관리에 집중
- 정부 및 관련 기관은 자율주행 기술 발전을 지원하기 위한 일정 수준의 새로운 도로 표준 개발

○ 2단계 (~2050년) : Lv2 수준의 자율주행자동차가 대다수이며, Lv3~4 수준의 자율주행자동차가 일정 수준 보급됨

- 전용차로, 대피 공간 등 자율주행자동차를 위한 공간과 시설의 설치가 필요하며, 관련 설계기준 및 지침 구축 필요

○ 3단계 (2050년 이후) : Lv3-4급 자율주행자동차가 대부분을 차지하며, Lv 5 수준의 자율주행자동차가 상용화됨. 그리고, 자율주행버스와 자율주행택시가 일반화됨에 따라 개인 소유 차량이 상당수 줄어듦

- 도로 기반시설이 더 단순해져서 도로 표시와 교통신호는 단일 디지털 통신 비콘 등으로 대체
- 도심 내 주차공간이 사라지며, 대부분의 기존 주유소는 충전소로 대체

[표 3-7] 기반시설 도입 시나리오에 따른 세부사항

시나리오	세부사항
1단계 유지보수	• 유지관리를 중심으로 한 기존 기반시설 업그레이드 - 통신장치 유지관리 기준 강화 - 도로 포장상태 유지관리 빈도 증대 - 배수 시스템에 대한 유지관리 범위 확대
2단계 분리	• 자동화 수준 발전에 따라 하위 수준의 시설 보존 및 상위 수준 지원을 위한 자율주행 전용 추가 인프라 구축 - 내구성이 강화된 포장재로 조성된 전용 차로 - 물리적으로 분리된 대피 공간 - 자율주행차량 전용 공유 공간, 충전소, 충전 도로 등의 서비스 시설
3단계 단순화	• 완전 자동화에 따라 다양한 기반시설에 대한 새로운 표준 개발 - 자율주행 전용 공간의 경우 도로 표지 및 표시 단순화 - 과속 단속 카메라 및 과속 방지턱 제거 - 주유소는 자율주행차량의 긴급 대피공간이나 정비소로 대체 - 도로의 형태 단순화

출처 : Liu et al.(2019)의 자료를 기반으로 저자 작성

(3) 호주 멜버른 지역의 인프라 설계기준 분석 사례(2021)[22]

○ Manivasakan et al.(2021)은 호주 멜버른 지역을 대상으로 도시의 공간 유형에 따른 미래도로 인프라 설계기준 검토 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론은 도출함

- 기존 교통체계와 자율주행 교통수단이 원활하게 융합되어 공존할 수 있도록 지원하기 위한 정책 및 지침 마련이 필요
- 자율주행자동차를 지원하기 위한 인프라가 필요하지만, 도로의 다양하고 복합적인 이용자(일반차량, 대중교통 차량 및 이용자, 보행자 등)에 대한 고려 역시 필요
- 이들과 자율주행자동차가 공존할 경우 안전성, 효율성, 접근성의 3가지 측면에서의 인프라 변경 지침 및 평가 가이드라인 제시가 필요

□ 자율주행 교통수단 수용전략

○ 자율주행 교통수단을 기존 도로 네트워크에 적용하기 위한 3가지 수용전략을 제시

- 공격적 수용 : 특정 지역 전체를 자율주행자동차만 운행할 수 있도록 지정하여 안전성과 효율성을 극대화함
- 보통 수용 : 기존 도로 일부분을 활용 또는 확장해 전용차로 등 자율주행자동차 전용 인프라 조성
- 보수적 수용 : 별도의 자율주행자동차 전용 인프라 없이 기존 교통체계를 그대로 유지와 활용

22) Manivasakan et al. (2021), "Infrastructure requirement for autonomous vehicle integration for future urban and suburban roads-Current practice and a case study of Melbourne, Australia", *Transportation Research Part A,* 152, p36-53.

□ 기반시설 평가 기준

○ 현재의 기반시설이 자율주행을 어느 정도 수용할 수 있는지에 대한 평가를 시도함

○ 이를 위해 지역의 토지이용 특성에 따라 도로 및 교통 이용 패턴의 차이가 존재함을 고려하여 **주거지역**, **상업지역**, **도시 간선도로 인근 지역**으로 구분

- 주거지역 : 교통량 적음/ 차량 속도 낮음
- 상업지역 : 교통량 많음/ 차량 속도 낮음/ 보행자 많음
- 도시 간선도로 인근 지역 : 교통량 많음/ 차량 속도 높음/ 화물차 운행 빈도 높고 군집 운행 많음

○ 주요 기반시설에 대해서 **안전성**과 **효율성**, **접근성**을 기준으로 평가를 수행

◆ 특정 인프라 계획의 등급을 0~3의 점수가 부여되며, 높을수록 유익한 계획

- 안전성 평가 기준 : 자율주행이 보편화되었을 때 도로 이용자의 안전을 보장하기 위한 고려사항 제시

[표 3-8] 기반시설 안전성 평가 기준

평가항목	주거지역	상업지역	도시 간선
일반 차량과의 완전 분리 시설	**0**	**0**	**3**
보도폭 확장	**3**	**3**	**1**
자전거도로 확장	**3**	**3**	**1**
교량 설계기준 강화 및 유지관리	1	1	2
주차 빌딩	1	1	1
포장 설계 기준 강화 및 유지관리	1	1	2
노면 표시 유지관리	1	1	1
표지판 유지관리	1	1	1
HD map, 안내표지판, 차선 및 노면	3	1	0
동적 정보제공	2	2	1
자율주행자동차에게 도로 상태 정보 제공	1	3	2
자율주행자동차에게 위치정보와 가이드 제공	1	1	3

출처 : Manivasakan et al. (2021)의 자료를 기반으로 저자 작성

- 효율성 평가 기준 : 전반적인 도로 네트워크의 효율성을 개선하고 이동 시간을 단축하는 것이 자율주행의 궁극적인 목적임을 참고하여 이를 지원하기 위한 고려사항 제시

[표 3-9] 기반시설 효율성 평가 기준

평가항목	주거지역	상업지역	도시 간선
일반 차량과의 완전 분리 시설	**0**	**0**	**3**
전용 승하차 구역	**3**	**3**	**3**
다용도용 보도공간	**3**	**3**	**1**
자율주행전용차로	**1**	**1**	**3**
주차장 설계	3	3	1
HD map, 안내표지판, 차선 및 노면	3	1	0
동적 정보제공	2	3	1
자율주행자동차에게 도로 상태 정보 제공	1	2	3
자율주행자동차에게 위치정보와 가이드 제공	1	1	2

출처 : Manivasakan et al. (2021)의 자료를 기반으로 저자 작성

- 접근성 평가 기준 : AV 및 관련 서비스로의 접근성 향상을 위한 고려사항
  - ◆ 단, 접근성은 토지이용에 영향을 받지 않는 것으로 판단

[표 3-10] 자율주행 관련 시설 접근성 평가 기준

평가항목	평가기준
전용 승하차 구역	**3**
보도폭 확장	**2**
자전거도로 확장	**2**
다용도용 보도공간	**2**
주차 빌딩	1
충전소 및 정비소 등 서비스 구역	2
자율주행 교통수단 접목 환승 거점	3

출처 : Manivasakan et al. (2021)의 자료를 기반으로 저자 작성

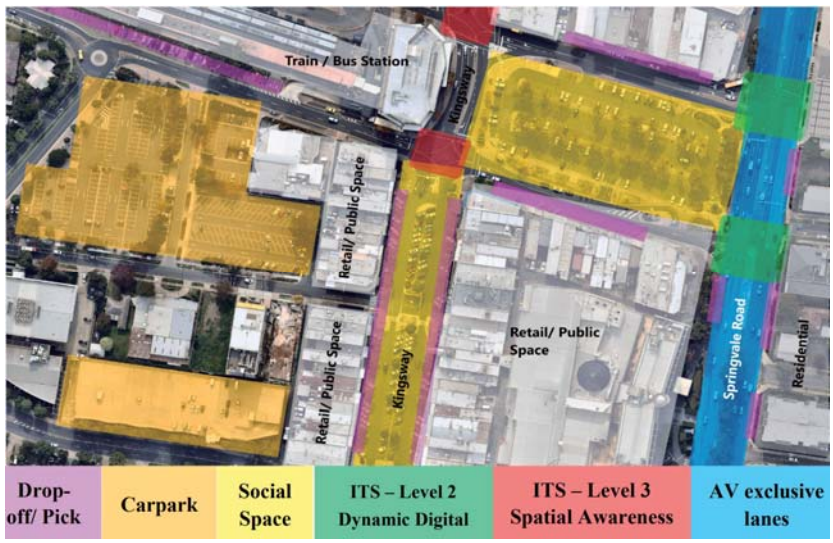
□ 사례분석

○ 호주 멜버른의 2개 지역(Glen Waverley 주변 지역, South Yarra 지역)을 대상으로 자율주행 적용 시 기하구조 개선에 대한 개념적인 설계를 통한 성능 평가 수행

- 두 지역의 개념적인 기하구조 개선에 따른 자율주행 성능 평가 결과 주요 3개 항목에서 '매우 우수'로 나타남

○ 사례1 Glen Waverley 주변 : 업무와 상업 중심지로서 지역의 교통허브이면서 다양한 토지이용을 보이는 지역

- 노란색 영역 : 기존 주차장 활용 복합문화공간 조성, 자율주행자동차 충전소 및 정비소, park & ride 시설
- 보라색 영역 : 자율주행자동차 전용 승하차 구역
- 빨간색 영역 : 신호 없는 교통 운영을 위한 디지털 인프라
- 파란색 영역 : 양방향 자율주행전용차로



[그림 3-1] 사례 1. Glen Waverley 주변 지역 기하구조 변경 개념도

출처 : Manivasakan et al. (2021)

○ 사례2 South Yarra 지역 : 지역 간 주요 간선도로가 통과하며, 자동차, 트램, 자전거, 보행자 등 다양한 통행이 교차하는 교통의 허브 지역

- 초록색 영역 : 주차 및 AV 전용 승하차 구역
- 보라색 영역 : 디지털 인프라 집중 설치
- 빨간색 영역 : 자율주행전용차로
- 분홍색 영역 : 보도 및 자전거 도로 확대

[그림 3-2] 사례 2. South Yarra지역 기하구조 변경 개념도

출처 : Manivasakan et al. (2021)

1.3. 개선 필요 인프라 항목 요약

○ 기존 연구에서 자율주행 교통수단을 위해 개선 및 도입이 필요할 것으로 전망하는 인프라의 항목을 [표3-11]에 정리함

○ 전반적으로 노면표시, 도로 라인마킹, 교통표지판 등의 도로의 교통시설물과 보도변 공간, Flex zone과 같은 도로의 공간 재설계(특히 차도에 인접한 보도공간), 자율주행전용차로와 같은 전용시설에 대한 요구가 절대적임

○ 도로 선형에 대한 변화는 필요성은 인정하지만 도로 선형의 변화가 안전과 직결하므로, 일반차량과의 혼입 운행이 지속하는 한에는 변형이 어려울 것으로 전망됨

○ 그리고 중요한 점은 자율주행자동차가 점진적으로 증가하 듯이 인프라 역시 점진적으로 도입할 필요성을 제기함

- 인프라 역시 초기의 낮은 자율주행자동차 점유율을 고려할 때 일반차량과 같이 사용할 수 있는 시설을 중심으로 개선이 필요하고,
- 중장기적으로는 자율주행자동차를 위한 전용시설이나, 환승허브 등에 대한 도입을 강조함

[표 3-11] 기존연구의 개선 필요 물리적 인프라 정리

구분	주요 항목	국토연구원 (2018)	McKinsey & Company (2019)	Liu et al.(2019)	EU MANTRA Project (2020)	Aryal (2020)	Manivasakan et al.(2021)	Austroads (2022)	KAIA R&D (건기연) (2022)
도로선형 설계요소	도로단면(차로폭)					○			○
	평면곡선					○			○
	종단곡선					○			○
	시거				○	○			○
	속도제한				○				
도로 교통시설	노면표시		○	○	○		○	○	
	교통표지판 (공사구역)	○		○	○		○	○	
	도로포장			○			○	○	
	라인마킹						○		
도시 공간설계	보도변 공간		○		○		○	○	
	Flex Zone	○	○				○		○
	서비스 및 안전구역	○	○	○			○	○	
교차로 및 교통신호	교차로 설계			○					○
	인터체인지							○	
	교통신호							○	

[표 3-11] 기존연구의 개선 필요 물리적 인프라 정리(계속)

구분	주요 항목	국토연구원 (2018)	McKinsey & Company (2019)	Liu et al.(2019)	EU MANTRA Project (2020)	KTH (2020)	Manivasakan et al.(2021)	Austroads (2022)	KAIA R&D (건기연) (2022)
자율주행 전용시설	전용차로						○	○	○
	전용주차 및 허브, 환승시설	○		○			○	○	○
토목시설	교량			○			○	○	
	지반			○					
	배수시설			○					
디지털 인프라	HD Map	○			○		○		
	위치정보				○		○		
	통신	○		○	○				
	정보제공			○	○		○		
	디지털 트윈				○				
	도로시설물				○				
기타	교통량				○				
	시간?				○				
	기상조건				○				
	수요 관리				○				
	인프라 유지보수				○				
	대중교통 차량 관리				○				

2. 자율주행을 위한 물리적 인프라 설계 최적화 방향

1) 정지시거(SSD: Stopping Sight Distance)

○ 자율주행자동차의 경우 센서의 인지 반응시간의 변화와 운전자일 때의 눈높이와 센서일 때의 높이차로 인한 정지시거의 변화가 예상됨

◆ 정지시거란 예상하지 못한 차량 또는 물체와의 충돌을 회피할 수 있는 최소거리를 의미

○ 정지시거는 운전자의 제동 반응시간, 인지-반응시간, 차량의 감속속도에 따라 산정

- 자율주행자동차는 사람이 운전하는 차량에 비해 인지-반응시간이 짧으며 약 0.2~0.5초로 예상

◆ 일반적으로 인간의 경우 2.5초의 인지-반응시간을 적용함

- 자율주행자동차의 감속 속도 3.4~4.5km/s^{2}로 비자율주행자동차에 향상이 있을 것으로 전망

◆ 현재 일반 승용차의 가·감속 속도는 3.4km/s^2

○ 자율주행자동차의 반응시간 감소 및 감속 속도가 향상된다는 가정을 반영하여 정지시거 모델을 재산정하면 다음과 같음

- 인지-반응시간 0.2초, 감속 가속도 4.5km/s^2 적용

$$SSD = 0.278\,V.PRT + \frac{0.039\,V^2}{a}$$

V.PRT : 인지 반응시간 (s)
V : 설계 속도(km/h)
a : 감속 가속도 (m/s^2)

○ Lv4 수준의 자율주행자동차를 기준으로 정지시거를 설계속도에 따라 산정하면 다음과 같음[23]

[표 3-12] 일반차량과 자율주행자동차의 설계속도와 정지시거

설계속도(km/h)	정지시거(m)		
	HDV	AV (Lv4 이상)	감소율(%)
20	20	5	75
30 (어린어보호구역)	**30**	**10**	**67**
40	45	20	56
50 (도심 일반 제한속도)	**65**	**25**	**62**
60 (도심 간선도로)	**85**	**35**	**59**
70	105	50	52
80 (자동차 전용도로)	**130**	**60**	**54**
90	155	80	48
100	185	95	49
110	220	115	48
120	250	135	46
130	285	155	46

출처 : Aryal (2020)

○ 일반적인 설계속도에 따른 정지시거는 45~50% 정도 감소 예상
- 저속에서는 감소폭이 최대 75% 정도(20km/h)
- 현재의 도심 제한속도인 50km/h에서 인간의 경우 65m, 자율주행자동차의 경우 25m의 정지시거 필요(62% 감소)
- 어린이보호구역 등 30km 존의 경우 정지시거가 1/3로 감소하여 안전 향상에 큰 영향을 보일 것으로 예상함

○ 정지시거의 감소는 안전의 향상과 더불어 평면 및 종단곡선의 반경을 줄일 수 있어 도로설계에 큰 영향을 미침

23) 차량의 성능적 측면에서 Lv4와 Lv5는 차이가 없으며, 단지 필요시에 인간이 다시 운전할 수 있는 권한을 회수할 수 있느냐(운전대가 존재하는냐)의 차이만 있음

[표 3-13] 자율주행자동차의 경사도에 변화에 따른 정지시거

설계속도 (㎞/h)	정지시거(m)						
	평지	내리막			오르막		
	0%	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	4.3	4.8	5.1	5.4	4.4	4.2	4.0
30	9.4	10.0	10.6	11.3	9.0	8.5	8.3
40	16.0	16.9	18.1	19.3	15.1	14.4	13.7
50	24.3	25.8	27.5	29.5	22.9	21.8	20.7
60	34.2	36.4	38.9	41.8	32.4	30.7	29.2
70	45.9	48.3	51.7	55.6	42.8	40.5	38.5
80	59.4	63.2	67.6	72.8	56.3	53.0	50.4
90	74.5	29.4	84.9	91.4	70.2	66.5	63.1
100	91.3	97.3	104.2	112.3	86.1	81.4	77.3
110	109.9	117.2	125.5	135.2	103.5	97.9	92.9
120	130.2	138.8	148.8	160.3	122.6	115.9	109.9
130	152.2	162.3	174.0	187.5	143.3	135.4	128.4

출처 : Aryal (2020)

2) 차로폭

○ 자율주행자동차는 차선 유지 기능으로 인해 차로의 좌·우측 경계선과 일정하게 유지하는 능력이 인간에 비해 우수함

○ 국내 도로설계지침은 도시지역에서 60km/h에서 3m, 40km/h 이하일 경우 2.75m를 최소폭으로 제시

[표 3-14] 국내 설계속도와 최소 차로폭 기준

설계속도(km/h)	차로의 최소 폭(m)		
	지방지역	도시지역	소형차 도로
100 이상	3.50	3.50	3.25
80 이상	3.50	3.25	3.25
70 이상	3.25	3.25	3.00
60 이상	3.25	3.00	3.00
60 미만	3.00	3.00	3.00

출처 : 변완희 외 (2022)

[표 3-15] 국내 설계속도와 최소 차로폭 기준II

설계속도(km/h)	차로의 최소 폭(m)
60	3.00
50	3.00
40	2.75
30	2.75
20	2.75

출처 : 변완희 외 (2022)

○ 다수의 기존연구는 자율주행자동차 만을 고려할 때 최소 2.44m(8 feet) 정도까지 축소할 수 있을 것으로 판단함

○ 이는 기존 차로폭에 비해 최대 25%가 감소(자동차전용도로)가 가능한 수준[24]

- 대형화물차량이 없는 경우 차로폭을 약 2.4~2.8m로 축소하는 것이 가능
  - ◆ 국내의 경우 로우베드 트레일러의 폭이 2.9m로 최대
- 교통량이 보통 수준인 주거지역의 경우 전체 차로폭을 약 4.8~6.1m (왕복 2차)로 줄일 수 있으며, 교통량이 적으면 약 2.4m(단차로) 가능

○ 따라서 완전자율주행이 구현된다면 현실적으로 도심 도로는 2.5m, 자율주행전용차로는 2.75m, 자율주행자동차와 일반차 혼입도로는 2.75~3.0m 수준의 차로폭을 유지해야 할 것으로 전망

○ 가장 현실성이 높은 차로폭으로 2.75m가 예상됨

[표 3-16] 해외 연구의 자율주행자동차를 위한 도로폭

연구	최소폭 제안(m)
Heinrichs, D. (2016)	8~9feet (2.44~2.75m)
Schlossberg, M. et al. (2018)	8feet (2.44m)
Snyder, R. (2018)	20~25% 감소
McCarville, I. (2019)	8feet (2.44m)
Aryal, P. (2020)	8~9feet (2.44~2.75m)
Machiani, S. et al. (2021)	8~9feet (2.44~2.75m)
Hafiz and Zohdy (2021)	2.5m

출처 : Othman (2021) 재인용

24) Aryal, P. (2020), *Optimization of Geometric road design for autonomous vehicles*, Master thesis, KTH Royal Institute of Technology, Sweden.

3) 평면곡선(반경)

○ 평면곡선은 도로 곡선구간에서 안전운행을 위해 필요한 최소시거의 확보를 위한 회전반경을 의미함[25]

○ 평면곡선 산정식을 보면 인지-반응시간 같은 인적요인에 의존하지 않고 최대 편경사, 최대 허용 마찰계수와 같은 주행 역학과 시야를 방해하는 장애물의 존재에 의해 결정되며 산정식은 아래와 같음

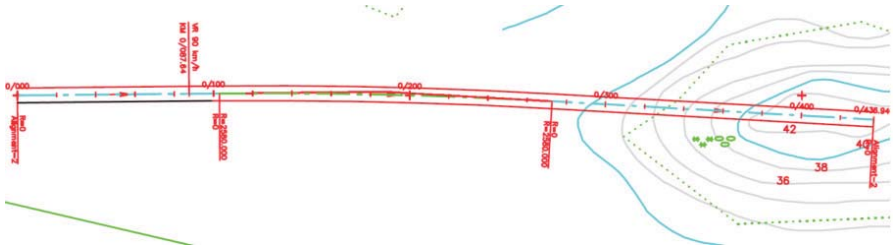
$$\text{최소회전반경 } R_{\min} = \frac{V^2}{127(0.01e_{\max} + f_{\max})}$$

V : 설계속도 (km/h)
e_{max} : 최대 편강사
F_{max} : 최대 측면 마찰 계수값

○ 속도와 편경사, 마찰계수 등이 동일하다고 가정했을 시 반응시간 감소로 평면곡선이 감소할 것으로 예상하며, 이에 최소반경 역시 1/4수준으로 감소 예상

○ 설계속도 90km/h, 차로폭 2.75m, 왕복 2차로 도로를 기준으로

- 일반차량의 경우 최소 시야확보 거리는 310m이며 이때 최소반경은 2,580m

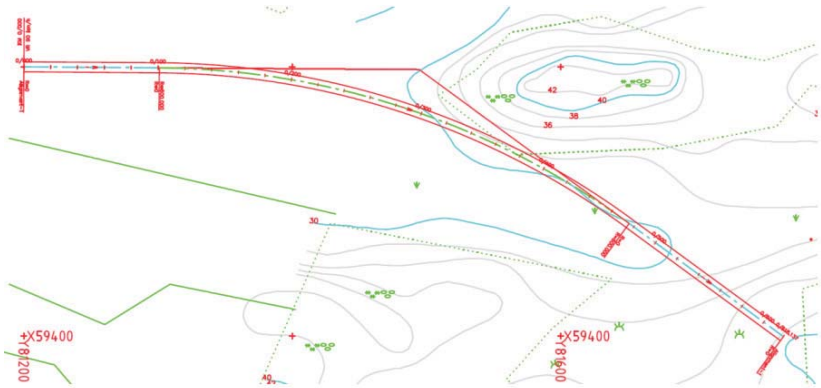


[그림 3-3] 일반차량 기준 최소 평면곡선 반경 설계(안)

출처 : Aryal (2020)

25) 평면곡선의 경우 도심부 도로보다는 고속도로에서 더 중요한 요소

- 반면 자율주행자동차의 경우 최소 시야확보 거리는 150m이며 이때 최소 반경은 600m로 일반차량에 비해 1/4 정도 감소 가능

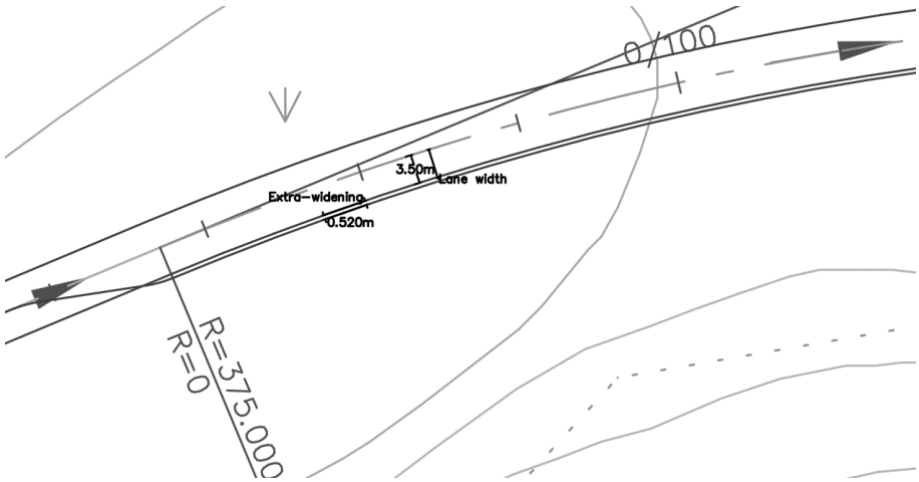


[그림 3-4] 자율주행차량 기준 최소 평면곡선 반경 설계(안)

출처 : Aryal (2020)

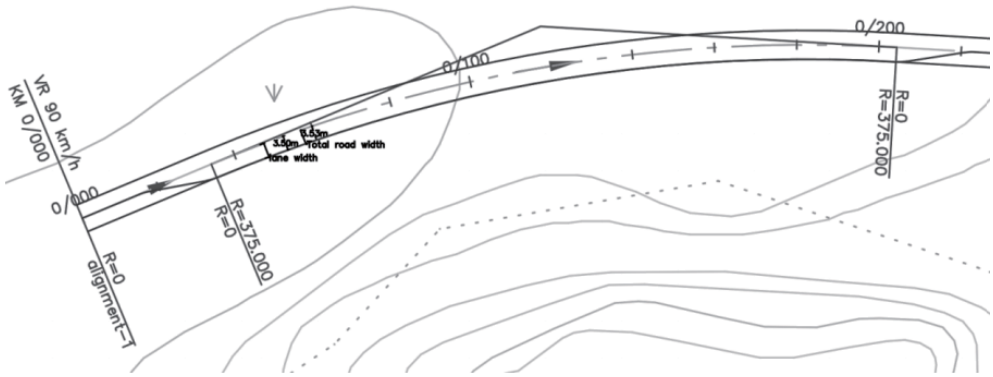
○ 폭이 좁은 급경사 구간의 경우 안전한 주행을 위해 도로폭을 추가로 확보해야 하는 가능성이 있음(Extra widening in horizontal curves)

- 자율주행자동차의 경우 차량이 곡선부에서 주행하는데 필요한 최소한의 물리적인 거리만큼이 필요하므로 추가되는 폭이 현저히 낮을 것으로 예상
- 즉, 운전하는 차량에서 고려되는 심리적인 안전성을 반영한 거리는 요구되지 않음
- 동일조건(설계속도 90km/h, 곡선반경 375m, e=4%, f=0.13)에서 주행에 필요한 추가 확폭 거리를 분석한 결과 일반차량 0.5m, 자율주행차량 0.03m로 나타남
- 미국의 AASHTO에 따르면 0.6m 미만의 추가 확폭은 필요 없으나, 대형차량의 경우 자율주행에 따른 설계상의 이점이 크게 작용할 것으로 예상됨



[그림 3-5] 일반차량 기준 곡선부 추가 확폭 설계(안)

출처 : Aryal (2020)

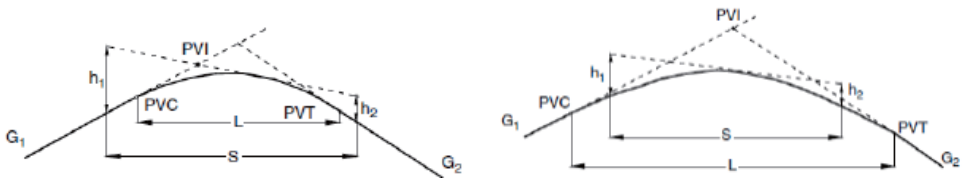


[그림 3-6] 자율주행자동차 기준 곡선부 추가 확폭 설계(안)

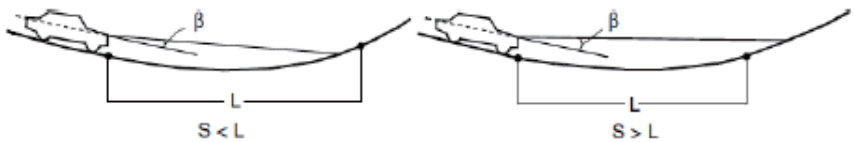
출처 : Aryal (2020)

4) 종단곡선

○ 종단곡선은 도로의 오르막과 내리막의 정도를 나타내는 것으로 차량 진행방향 순서대로 오르막길+내리막길 조합(Crest vertical curve)과 내리막길+오르막길 조합(Sag vertical curve)로 구분 가능



오르막 + 내리막 경사



내리막 + 오르막 경사

[그림 3-7] 종단곡선 개념도

출처 : Aryal (2020)

○ 종단곡선을 산출하는데 가장 중요한 요인은 차량 운전자의 눈높이 또는 자율주행자동차의 센서 높이와 안전시야거리(Safe sight distance) 임

- 운전자의 눈높이는 일반적으로 0.6m
- 자율주행자동차의 센서 높이는 제조사 별로 차이가 있으며, 토요다 프리우스와 렉서스로 테스트한 구글 자율주행차의 경우 2.054m[26], 웨이모 자율주행차량은 1.84m[27] 수준
  - ◆ 센서 또는 눈높이가 높아지면 안전시야거리가 더 확보되어 상대적으로 더 안전이 확보됨

26) Khoury, J., Amine, K. and Saad, R.A.(2019), "An Iinitial Investigation of the Effects of a Fully Automated Vehicle Fleet on Geometric Design", *J.of Adv. Transp.*
27) Waymo, On the Road. Available online : http://waymo.com

○ 오르막 및 내리막 종단곡선 설계식은 다음과 같음

오르막 종단곡선 설계식

곡선길이 L 이 안전시야거리 S 보다 큰 경우

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1}+\sqrt{2h_2})^2}$$

곡선길이 L 이 안전시야거리 S 보다 작은 경우

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{2h_1}+\sqrt{2h_2})^2}{A}$$

A : 경사도 차이 (%)
S : 시야거리(m)
h1 : 센서 높이(m)
h2 : 사물 높이(m)

내리막 종단곡선 설계식

곡선길이 L 이 안전시야거리 S 보다 큰 경우

$$L = \frac{AS^2}{200[h_3 + S(\tan(d))]}$$

곡선길이 L 이 안전시야거리 S 보다 작은 경우

$$L = 2S - \frac{200[h_3 + S(\tan(d))]}{A}$$

A : 경사도 차이 (%)
S : 시야거리(m)
h3 : 전조등 높이(0.6m)
d : 상향등 경사각 (1°)

○ LIDAR 센서의 높이(h1), 헤드라이트 높이(h3), 감속률 등 차량의 특성 정보를 Waymo 자율주행자동차의 제원에 적용하여 계산하면 다음과 같음

[표 3-17] 설계속도에 따른 종단곡선 길이 차이

설계속도 (㎞/h)	일반차량 정지시거(m)	자율주행자동차		
		정지시거(m)	오르막 종단곡선(m)	내리막 종단곡선(m)
20	20	5	12	12
30	35	10	18	18
40	50	20	24	24
50	65	25	30	30
60	85	35	36	40
70	105	50	42	68
80	130	60	48	87
90	160	80	57	128
100	185	95	81	160
110	220	115	118	202
120	250	135	163	246
130	285	155	215	290

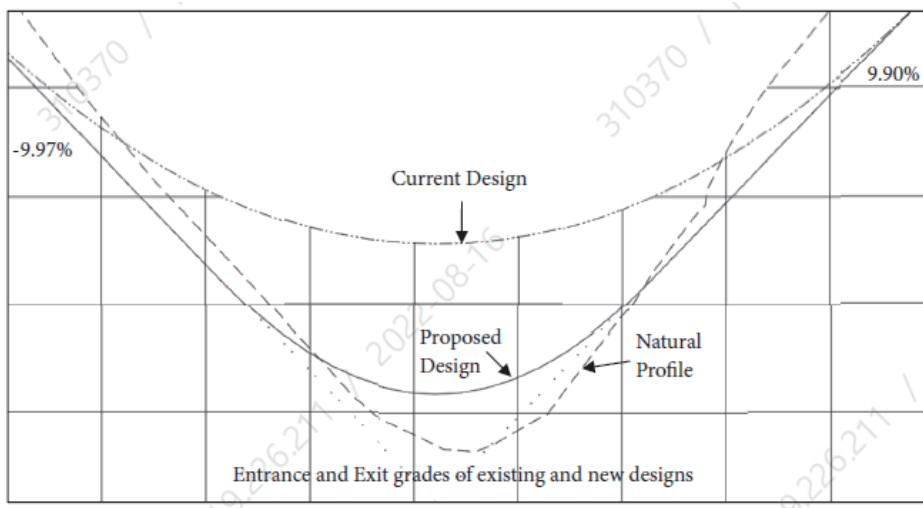
○ 동일한 조건에서 자율주행의 더 날카로운 곡선으로 설계가 가능하고, 이는 경제적인 측면(토공량 등)에서도 유리하게 작용할 것으로 예상

[표 3-18] 설계속도와 종단곡선 곡률(K) 비교

설계속도(km/h)	종단곡선 곡률(K)			
	오르막-내리막		내리막-오르막	
	HDV	AV	HDV	AV
20	1	1	3	1
30	2	1	4	1
40	4	1	8	1
50	7	2	13	1
60	11	3	18	1
70	17	5	23	2
80	26	8	30	2
90	37	13	37	3
100	53	19	45	3

출처 : Othman, K. (2021)

K값은 곡선반경을 의미하며 K=1은 실제 100m의 반경값을 의미



[그림 3-8] 종단곡선 설계 변화 예시(내리막-오르막)

출처 : Khoury et al. (2019)

5) 노면표시와 도로표지판

○ 노면표시와 도로표지판은 각종 주의, 규제, 지시 등의 내용을 기호나 문자 등을 알리는 표시이므로, 중요한 사항은 명확하게 인식할 수 있도록 강조 필요

- 장기적으로 자율주행자동차 100%인 시대가 오면 V2X 통신으로 라인마킹을 포함한 노면표시와 도로표지판의 필요성은 감소 또는 없어질 것으로 전망
- 그러나 일반차량과 자율주행주행자동차가 혼재되어 있고, V2X통신 서비스가 완전하지 않은 기간 동안에는 여전히 중요한 이슈가 될 것
  - ◆ 잘 관리되는 라인마킹, 노면표시, 도로표지판의 일반차량의 운전자에게도 중요한 이슈이며 이득이 됨

○ 자율주행자동차를 위한 노면표시 및 도로표지판은 다음의 이슈가 있음[28)]

- 자율주행자동차의 AI 알고리즘은 표준화에 민감하며, 노면표시와 도로표지판의 규격화가 중요
- 자율주행자동차의 표지 인식에 방해가 되는 요인을 제거할 필요가 있음
- 주·야간과 날씨에 따른 시인성의 차이가 중요한 문제이며, 특히 노면표시의 경우 마모 등에 의한 표시 불균형도 있지만, 야간이나 우천 시 시인성이 크게 떨어지는 문제가 있음

○ 일부 경우를 제외하고는 우리나라는 표준화가 잘 되어 있으므로 상대적으로 문제가 적으나, 시인성 확보와 인식 방해 요인 제거가 중점 사항임

[그림 3-9] 자율주행자동차의 인식을 방해하는 차선표시 사례

출처 : Milford et al. (2020)

28) Lyon et al.(2017) ; AbdelGawad and Othman(2020)

□ 노면표지에 대한 요구사항

○ 야간 및 악천후 시의 차선의 시인성은 자율주행자동차뿐만 아니라 일반 차량의 경우에도 대단히 중요한 문제

○ 호주 Austroads는 시인성 확보를 위한 라인마킹(차선)의 반사기준을 주야간 3:1, 재귀반사성능기준을 마른 도로 150mcd/lx/m^2, 젖은 도로 75mcd/lx/m^2 로 제시

- 국내의 경우 「도로교통법 시행규칙」 제8조 별표 6(안전표지의 종류, 만드는 방식 및 설치·관리기준)에서는 우천시를 제외하고는 양호한 기준을 적용 중
- 단, 일반적으로 가장 널리 사용되는 백색과 황색 중 황색의 경우 젖은 도로의 경우 70mcd/lx/m^2이 기준이므로, 기준을 75mcd/lx/m^2로 상향 필요
- 그리고 청색과 적색의 경우에도 젖은 도로에 대해서는 기준을 재검토 필요

[표 3-19] 국내의 노면표시 반사재료의 반사성능 기준

구분	최소재귀반사성능 (mcd/lx/m^2)			
	백색	황색	청색	적색
마른 도로	240	150	80	46
젖은 도로	100	70	40	23

출처 : 「도로교통법 시행규칙」 제8조 별표 6

일반 차선과 우천시 고반사 차선 표시 비교

380 젖은 도로 반사 차선 테이프

380-5 고대비 차선 테이프

[그림 3-10] 젖은 도로에서의 재귀반사성능 예시

출처 : Hallmark et al. (2019)

○ 차선표시의 폭의 경우 미국 FHWA의 경우 자율주행자동차를 고려할 때 15.3cm(6인치)를 제안하고 있으며, 호주 Austroads 역시 15cm를 적합한 기준으로 제시

- 차선의 규격의 경우 국내는 10~15cm가 일반적으로 적용되고 있으므로[29], 15cm 이상을 유지 필요

29) 경찰청 (2022), 「교통노면표시 설치 관리 업무편람」.

□ 도로표지판에 대한 요구사항

○ 자율주행자동차가 인식하지 못하거나 잘못된 인식을 방지하기 위해 교통안전에 영향이 큰 도로표지판부터 크기의 단계적 확대가 필요함

- 「도로교통법 시행규칙」 제8조 별표 6(안전표지의 종류, 만드는 방식 및 설치·관리기준)에 교통상황에 따라 기본 규격보다 확대할 수 있는 범위를 규정하고 있음
- 자율주행자동차의 인지 실패 및 오류를 최소화하기 위해 1.3배 이상 확대할 필요가 있음

[표 3-20] 교통안전표지의 크기 확대 비율

도로 종별	확대 비율
고속도로(자동차 전용도로 포함)	1.5배, 2배, 2.5배
일반도로	**1.3배, 1.6배, 2배**

출처 : 변완희 외 (2022)

[그림 3-11] 횡단보도 표지의 확대 예시

출처 : 변완희 외 (2022)

○ 자유주행자동차의 인식의 효율성을 높이고 규격화를 위해 QR 코드(Quick Response Code)를 도로표지판의 보조표지로 활용 필요

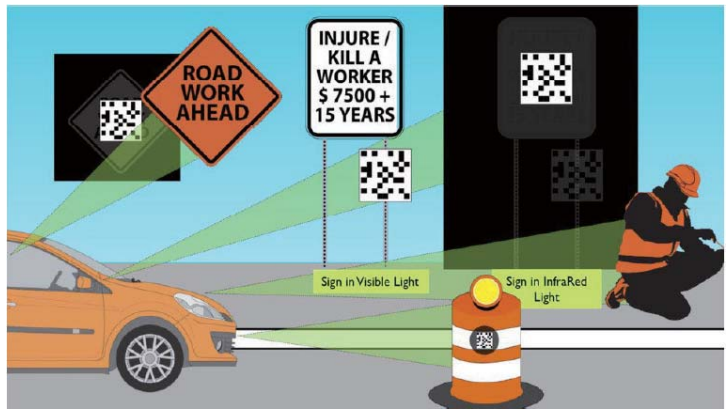
- 도로상에 존재하는 중요 안전시설 및 교통안전표지 등을 QR 코드로 처리할 경우, 자율주행자동차의 인식률이 높고 많은 정보를 받을 수

있어 도로 안전 주행에 기여할 수 있을 것으로 판단됨

- QR 코드는 한글/영문/한자/기호 등 대부분의 문자 코드 처리가 가능하고, 7,890개 문자의 정보량 취급
- 동일한 정보량 기준 바코드의 10% 크기로 제작이 가능하고, 오류 복원력이 강해 코드 일부가 손상되어도 원래의 데이터 복원이 가능함
- 자율주행자동차가 정차하는 정류장, 전용도로나 합류 지점, 공사구간 등의 시점과 종점 등 중요한 정보를 제공해야하는 특정 위치에 활용

[그림 3-12] 도로 이정표의 보조표지로써 QR 코드 사용 예시

출처 : 변완희 외(2022)



[그림 3-13] QR 코드를 이용한 공사 지역 표시 개념

출처 : Forconstructionpros 웹사이트 (2017)

□ 중앙분리대(무단횡단금지시설)

○ 중앙분리대의 경우 완전자율주행이 아닌 부분 자율주행이 일반화되어 있는 과도기적 상황에서 유의미한 시설로 판단

- 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙」 중 [별표 27]의 '부분 자율주행시스템의 안전기준'은 중앙분리대 설치를 요구
- 중앙분리대 설치를 통해 반대 방향으로 이동하는 교통수단을 물리적으로 분리 요구

○ 도심의 제한속도 50km/h, 30km/h 등 저속 차로에서 「도로의 구조시설 기준에 관한 규칙」 제11조(차로의 분리)에서 규정한 1m 폭의 중앙분리대는 과다한 시설

○ 그러므로, 무단횡단 금지시설이 자율주행자동차의 반대편 차로로의 횡단이나 충돌을 예방을 위한 적절한 차선책이며 다음의 역할을 수행

- 보행자의 무단횡단, 차량 및 이륜차의 불법유턴 방지
- 야간 및 악천후 시 운전자의 시선 유도
- 자율주행자동차의 중앙선 인지 능력 향상

[그림 3-14] 무단횡단 금지시설 예시

출처 : 변완희 외(2022)

6) 보도변 공간과 Flex Zone

○ 자율주행이 활성화될 경우 도시의 공간적 측면에서 변화가 일어나고 관리가 필요한 부분으로 보도변 공간(Kerb)이 언급됨

- 현재 보도변 공간은 버스정류장이 위치한 경우가 많으며, 소방시설, 교통제어 시설, 자전거 또는 PM 전용도로 등이 설치되어 있음
- 그리고 보도변 공간에서는 현재도 단기 주차, 사람들의 승하차, 화물차량에 의한 물건의 상·하차 등 다양한 활동이 이루어지고 있음
- 다양한 활동은 같은 시간에 발생하기보다는 유형에 따라 서로 다른 시간에 발생하는 경향이 있음

○ 보도변 공간을 자율주행자동차에 최적화한 방향으로 활용하기 위해 Flex Zone이란 개념이 점점 확대하고 있음

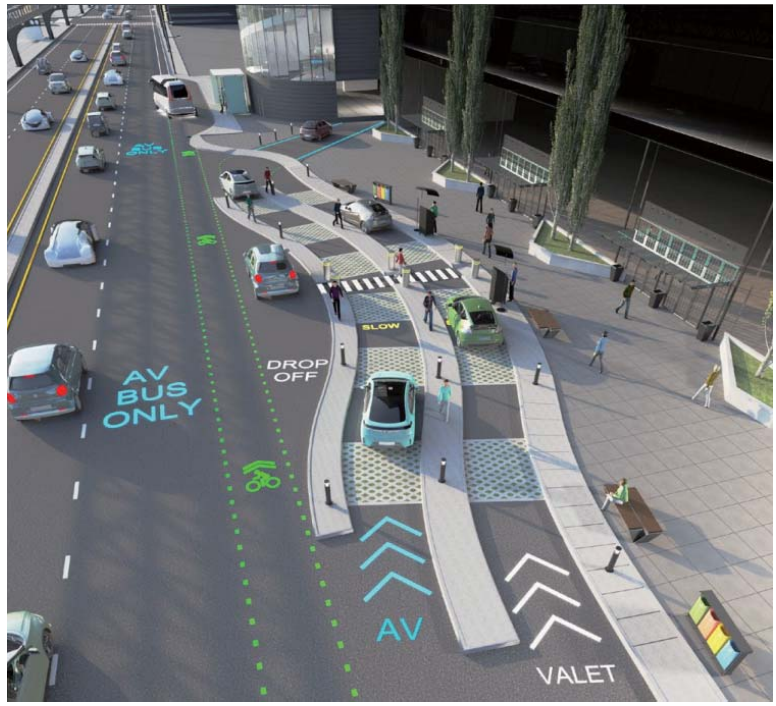
- Flex Zone은 승객의 승하차 중심의 기능과 노상주차공간이 강조된 기존의 드랍존, 픽업존에서 확장된 기능을 수행하는 시설[30]

[표 3-21] 미국 Seattle시의 Flex Zone 활용 Use Cases

기능	정의	이용 사례
이동서비스 (Mobility)	사람과 물자의 이동	보도/ 버스전용차로 자전거전용도로/ 우회전 전용 등
사람들의 접근성 (Access for People)	승객의 도착과 환승	버스 및 도시철도 정류장 자전거 주차대/승용차 이용자 승하차 단기주차/택시 승하차 등
상업시설에 대한 접근성 (Access for Commercial)	고객과 시설에 대한 물자와 상업 서비스	화물차 상하차 등
활동성 (Activation)	사회활동 공간	푸드트럭/ 길거리 공연 등
녹지 및 휴식 (Greening)	휴식, 녹지, 건강 시설	가로수/ 녹지 공간 등
특정 용도 공간 (Storage)	차량과 장비를 위한 정차 공간	버스 간이터미널 장기주차/ 공공업무용 공간 건설 및 공사 등

출처 : Seattle DOT 웹사이트 (2022)

30) Shepard, M. (2018), *Flex Zone/Curb Use Priorities in Seattle*,
Seattle (2020), *Seattle 2035 Comprehensive Plan: Managing Growth to Become an Equitable and Sustainable City 2015-2035*.



[그림 3-15] 자율주행시대의 보도변 공간의 활용

출처 : National Parking Association (2018)

○ 한국건설기술연구원의 주도로 수행 중인 국가 R&D[31]에서는 우리나라의 실정에 맞는 Flex Zone의 역할에 대해 정의하고자 함

- 국가 R&D에서는 Flex Zone의 필요성을 미래도로의 경우 차로폭 감소로 인해 유휴공간이 발생한다는 전제를 바탕으로 함
- Seattle의 Use Cases를 기반으로 14가지 용도로 세분
  - 2023년부터 가상 설계 수행 예정

○ Flex Zone의 또 다른 용도는 긴급피난구역(Emergency Refugee Area)의 역할

- 자율주행자동차의 고장 등으로 인한 정차 장소가 필요
- Flex Zone과 같은 공간을 활용하는 방법과 노상 주차공간 중 빈 곳을 활용하는 방법 등이 있음

31) 윤덕근 (2022 b), 「자율주행시대 도로인프라 변화방향」, 서울연구원 세미나 발표자료. 2022년 12월 01일 개최.

[표 3-22] 국가 R&D에서 정의한 Flex Zone 개념

기능	소분류	개념
교통이동성	자율주행차 이동성	AV, SAV 등을 포함한 이동
	보행 이동성	인도, 보행자 전용 도로를 이용한 사람과 물품의 이동
	자전거 및 PM 이동성	자전거 및 PM의 이동
	대중교통 이동성	버스전용차로, 경전철/전차 도로를 활용한 대중교통의 이동
	항공교통 이동성	UAM과 같은 항공 모빌리티의 이동
교통접근성	SAV 승하차 구역	SAV의 승객 승하차 구역
	환승 가능 구역	대중교통, 경전철/전차 및 SAV의 상호 환승 가능 구역
	단기 주차 구역	개인용 자율자동차의 단기 주차를 위한 구역
물류접근성	정기물류	개인을 위한 물류회사의 새벽배송, 편의점, 일반 가게와 같은 식품 및 정기적 물품 배송의 적재 구역
	택배물류	비정기적 택배물류 배송을 위한 적재 구역
	도심항공물류	드론 및 UAM을 이용한 물류 적재 구역
여가시설		푸드트럭, 거리축제 등 활기찬 사회 공간
녹지		가로수, Plant box, Rain garden, 등 미학 및 환경 개선
특정용도 지정공간		자율차 Fallback 대응공간, 경찰 및 소방차, 충전시설과 같은 특정용도를 위한 공간

출처 : 윤덕근 (2022b)

7) 교차로

○ 자율주행자동차 100%의 시대에는 모든 자동차가 V2X 통신으로 연결될 것이며, 교통신호기가 필요 없어 모든 교차로는 무신호 또는 회전교차로가 될 것으로 전망

○ 그러나 일반차와 자율주행자동차가 같이 운행하는 시기 동안에는 여전히 교차로는 현재의 상태를 유지할 것이며, 신호 제어의 효율 또는 방식을 개선하는 방향으로 발전할 거임

○ 대표적인 교차로인 신호교차로, 회전교차로, 무신호교차로에 대해서 살펴봄

(1) 신호교차로

○ 가장 보편적으로 사용되는 교차로이며, 자율주행자동차와 일반차가 동시에 운행하는 환경에서는 가장 합리적인 교차로 시스템

○ 자율주행자동차는 신호 인식의 실패가 항시 존재하며 이에 따른 안전한 교차로 통과가 실패할 위험이 상존

○ 신호 인식 실패는 여러 가지 이유가 있겠지만, 다음과 같은 이유가 일반적

- 강한 햇빛에 의한 빛 반사와 신호기 주변의 조명 등에 의한 간섭
- 대형차량에 의한 전방 신호기 가림

○ 그리고 자율주행자동차의 정속주행 원칙과 현재의 넓은 교차로 폭과 짧은 황색신호시간으로 인한 문제가 있음

□ 교통신호기 설치 원칙

○ 일반적으로 도로 통행 차량 중 버스와 같은 대형차량 뒤에 정차할 경우, 전방의 교통신호기 인지가 어려움

- 자율주행자동차의 경우는 인지 실패 시 진행 자체의 판단이 불가능하므로 이러한 경우가 최대한 발생하지 않도록 하여야 함

○ 교차로에는 딜레마존(Dilemma Zone)이 존재하며, 딜레마존의 발생원인은 교통신호기 교차로 진행 방향의 건너편에 위치하기 때문

딜레마존(Dilemma Zone)

교차로에 접근하는 차량이 황색신호를 보고 정지하려 할 때 최대 감속하여도 교차로 내에 정지하게 되고, 가속 페달을 밟아 최대 가속을 하여도 황색신호시간 동안 교차로를 통과하기 어려운 교차로의 진입 이전 상류부의 일정 구간을 의미

출처 : 변완희 외(2022)

○ 자율주행자동차가 교차로 통과 중 딜레마존에 놓이지 않도록 교차로 진입 전·후 지점에 모두 설치 필요

[그림 3-16] 교통신호기 교차로 진입 전·후 지점 설치 예시

출처 : 변완희 외(2022)

□ 교차로 황색신호시간 조정

○ 안전속도 5030 시행으로 제한속도가 30km/h 및 50km/h로 조정된 교차로에서 황색신호시간 내에 교차로 통과의 어려움이 증대함

- 일반차와 달리 정속주행을 반드시 지키는 자율주행자동차의 경우 일반차량보다 더 어려움을 겪을 수 있음
- 이는 속도 감소 정책에도 불구하고 교차로 폭을 줄이거나 교통신호 체계에서 황색신호시간을 늘리는 등의 조치가 없었기 때문

안전속도 5030

보행자 통행이 잦은 도시지역에서 차량 제한속도를 일반도로는 시속 50km, 주택가 등 생활도로는 시속 30km 이하로 하향 조정하는 정책[32)]

유럽 등 교통 선진국은 1970년대부터 시행 중이며, OECD(경제협력개발기구) 37개국 중 31개국에서 이미 시행

2017년 부산 영도구, 2018년 서울 4대문 안의 시범 운영을 시작으로 2021년 4월 17일부로 전면시행

시범 운영 지역인 부산 영도구의 경우, 보행자 교통사고 사망자수가 37.5%가 감소하였으며, 서울 4대문 안에서는 보행자 교통사고 중상자수가 30%가 감소하는 등 일관된 사망·부상 감소 효과를 확인

특히, 2019년 11월부터 전면 시행한 부산의 경우 2020년 보행자 교통사고 사망자수가 전년대비 33.8%나 감소

출처 : 변완희 외(2022)

32) 기존에는 1차로 도로는 60km 이하, 2차로 이상은 80km 이하로 제한속도를 규정할 수 있도록 하였음

○ 황색신호시간을 결정하는 수식에 따라 차량 속도에 따라 필요한 황색신호시간을 계산하면 교차로가 크면 클수록 기존의 값보다 더 커야 함

- 교차로 폭이 어느 일정 길이 이상이 되면 기존 황색신호시간으로는 교차로를 통과할 수 없다는 것을 의미

○ 현재의 일괄적으로 적용되는 3초로는 시속 50km/h에서도 폭이 5m인 교차로도 안전하게 통과하기 어려움

[표 3-23] 제한속도와 교차로폭에 따른 황색신호시간

제한속도 변화	교차로 폭			
	5m	10m	15m	20m
70km/h	3.6	3.9	4.1	4.4
60km/h	3.4	3.7	4.0	4.3
50km/h	3.2	3.6	3.9	4.3
30km/h	3.0	3.6	4.2	4.8

출처 : 변완희 외(2022)

○ 따라서 교차로에서 황색신호 시간 내에 안전하고 편하게 통과할 수 있도록 황색신호시간의 재조정 필요

□ 신호제어방법의 개선

○ 자율주행자동차를 위한 교통신호의 신호제어 방법은 기존의 고정식(Fixed), 감응식(Actuated), 대응식(Adaptive) 방식이 아닌 자율제어(Autonomous control), 신호최적화(Signal-optimization), 하이브리드(Hybrid) 방식이 고려 및 연구되고 있음[33]

- 자율제어(Autonomous control) 방식 : 차량 간 통신을 통해 수집된 차량의 운행 속도, 위치정보를 기반으로 제어를 수행. 인공지능이나 협력주행을 기반으로 중앙 또는 현장에서 실시간 제어 수행. 자율제어에서는 미래 상황을 예상하고 제어를 할 수 있음

33) Al-Turki et al.(2022), "Signalized Intersection Control in Mixed Autonomous and Regular Vehicles Traffic EnvironmentA Critical Review Focusing on Future Control", *IEEE*, vol 10, ODI: 10.1109/ACCESS.2022.3148706

- 신호최적화(Signal-optimization) 방식 : 기존의 신호시스템과 가장 유사하며 현장의 교통량을 기반으로 최적화 수행. 기본적으로 신호기가 필요. 기존의 대응식 신호제어 기법과 유사. 미래 상황에 대한 예측은 반영하지 않음.
- 하이브리드(Hybrid) 방식 : 자율제어와 신호최적화를 혼용한 방식으로 신호현시가 정해지면, 교차로 통과를 위한 최적 속도를 지시하는 방식으로 차량 정지를 최소화

[표 3-24] 자율주행자동차를 위한 신호제어방식에 따른 요구사항

요구 항목	신호최적화 (Signal-optimization)	하이브리드 (Hybrid)	자율제어 (Autonomous control)
차량간 연결	V2V, V2I 요구	V2V, V2I 요구	V2V, V2I 요구
인프라	인프라 대신 차량흐름 예측 모형을 활용	교통흐름 파악을 위한 센서 필요 일반차량에 대한 정보를 자율주행차량이 수집해서 제공	교통흐름 파악을 위한 센서 필요
교차로 설계	-	교차로에 접속하는 도로를 단차로도로 설계 좌회전 금지	좌회전 등의 회전차량을 위한 별도의 운행방법 고려 필요 Tandoem 교차로
운전행태	-	규칙 절대 준수	규칙 절대 준수

출처 : Al-Turki et al. (2022)의 내용을 기반으로 저자작성

○ 기존연구는 일반차량 역시 자율주행자동차와 동일하게 규정을 준수하면서 운행하는 것을 가정하고 있음

○ 그러나 일반차량의 경우 규정을 완전히 준수한다는 보장이 없으므로 혼입 운행 상태에서는 새로운 유형의 신호제어에 의한 효율이 기대보다 낮을 것으로 판단

○ 그리고 일반차량의 비율이 높은 경우 C-ITS나 차량 간 통신에 의해 제공된 정보를 운전자가 완전히 이해하고 활용한다는 보장이 없으며, 급격한 변화는 오히려 일반차량의 운행에 혼란을 야기하고 안전에 큰 문제로 작용할 수 있음

○ 따라서 자율주행자동차를 고려한 신호제어는 현재의 방식 → 신호최적화(Signal-optimization) → 하이브리드(Hybrid) → 자율제어(Autonomous control) 방식으로 변화할 것으로 예상됨

◆ 자율제어방식은 사실상 자율주행 100% 시대 또는 모든 차량이 제공된 정보에 의해 자체적으로 속도와 루트 조절이 가능한 경우에만 효과적

(2) 회전교차로

○ 회전교차로(Roundabout)은 최근 다수의 신도시에서 보편적으로 도입하고 있는 교차로의 유형임

○ 회전교차로의 장점은 교차로 진입속도를 줄여 교통사고를 감소시키는 효과와 신호에 따른 정지시간 감소의 효과가 있음. 반면 교통량이 많은 곳에는 적합하지 않으며, 국내에서는 운전자들이 회전교차로의 이용방법을 충분히 이해하지 못해 불필요한 정체가 발생

- 좌회전 교통량이 전체 교통량의 40%를 넘어가는 경우 비효율

○ 회전교차로에서 자율주행자동차와 일반차량이 혼재된 상태의 이슈는 차량 흐름의 개선과 사고의 발생 위험임

○ 교통흐름의 개선에 대해서는 기존연구는 자율주행자동차의 비율이 높아짐에 따라 속도, 지체시간 등에서 개선이 있을 것으로 전망

- 혼입률 50%에서 지체가 약 20% 정도 감소(Tibljaš et al., 2018)
- 자율주행자동차의 비율이 40%일 경우 시간당 처리 교통량이 약 10% 증가(Boualam et al., 2022)

○ 반면 안전측면에서는 자율주행자동차의 비율이 높아지면 회전교차로에서 차량간 사고의 위험성이 다소 높아지는 것으로 분석됨

- 반면 자율주행자동차의 비율이 50%일 경우 일반차량에 비해 약 5~45배 정도 더 사고 위험성이 높아짐(Tibljaš et al., 2018)
- 이는 자율주행자동차가 일반차에 비해 좁은 차간 거리와 군집주행 등의 더 나은 성능을 발휘한다는 전제로 인한 것

- 따라서 안전측면에서 회전교차로의 사고 발생 가능성에 대한 보다 면밀한 연구와 검토가 필요
- 그리고 특히 우리나라의 상황처럼 운전자가 회전교차로에 익숙하지 않은 경우에는 회전교차로에 센서를 부착하여 자율주행차량을 위한 적절한 정보제공이 필요

(3) 무신호 교차로

○ 자율주행자동차와 일반차가 혼입된 상태에서는 무신호 교차로는 현실적으로 적용하기 어려움

○ 기존연구 역시 자율주행자동차 100%를 가정한 경우의 연구는 있으나, 혼입상태에 대한 연구는 없어 정확한 결론을 내리기 곤란

○ 따라서 추가적인 연구가 필요

8) 자율주행자동차 전용차로

○ 자율주행전용차로의 경우 비용과 도로의 구조 변화 측면에서 가장 논란의 여지가 큰 인프라임

○ 과거에는 전용도로가 시간당 통행량을 200% 증가시킬 수 있는 획기적인 미래도로 인프라로 인식됨(Vander Laan and Sadabadi, 2017; Ye and Yamamoto, 2018)

○ 반면 점차 전용도로의 효과가 투자비용대비 크지 않다는 것이 주요 관점으로 부상

- 자율주행자동차의 비율이 일정 수준(50~70%)에 도달해야만 실질적으로 효과를 발휘 가능(Haider and Wijayaratna, 2018)
- 전용도로의 가장 큰 문제점은 자율주행자동차의 비율이 일정 수준에 도달하기 전이나 자율주행자동차가 전용도로만 이용하게 하는 경우 모두 도로 네트워크의 효율 측면에서는 좋지 않음
- 현재는 전용도로의 효과가 불확실하며, 자율주행자동차를 일반차량에서

분리하는 것이 필요하지 않다는 의견이 더 많음(Amelink et al. 2020)
  - 2019년에 자율주행자동차 관련 관계자를 대상으로 미국에서 진행된 조사 결과 53%가 전용도로가 불필요, 41%는 필요, 6%는 자율주행화물차를 위해서만 필요라고 응답(Saeed, 2019)
- ○ 반면 로보택시와 자율주행셔틀 등을 위해서는 전용도로가 필요성이 있다는 연구결과도 있음(Amelink et al. 2020)
- ○ 국내의 경우 도심에 전용도로를 설치하기 위한 연구가 수행 중
  - Lv4 자율주행자동차의 비율 30%일 경우 4가지 시나리오를 바탕으로 모델링을 수행한 결과 중앙전용도로와 자율주행자동차가 일반도로로 진입이 불가능한 경우를 제외하고는 3가지 시나리오에서 지체 감소 효과가 있음
  - 중앙전용도로와 자율주행자동차의 일반도로 진입을 불허할 경우에는 지체가 12.8% 증가
  - 우측전용차로에 자율주행자동차의 일반차로 진입을 허용할 때는 13.91%의 지체 감소 효과
  - 연구는 전용차로의 효과가 일정 수준 있다고 결론 내렸으며, 구체적인 방안에 대해서는 추가적인 연구를 수행 중
- ○ 전용도로의 경우 자율주행자동차의 혼입률이 30~40% 수준이 되었을 때 도입하는 것이 이상적임
- ○ 그러나 다음의 2가지 사항에 대해서는 보도변 전용도로 도입을 고려할 수 있음
  - 도시의 주요 지점을 자율주행셔틀로 연결할 계획이며 자율주행셔틀 노선이 필요한 경우
  - 목표 도시에 자율주행택시(로보택시)와 공유자율주행자동차(SAV)의 운행을 허용하며, 일정 비율 이상의 공급량이 있을 경우
- ○ 초기 단계에서는 교통량이 많은 혼잡한 간산도로가 아닌 동일한 출발지와 목적에 서비스가 가능한 보조간선, 집산도로에 우선적으로 도입 필요

○ 또는 전용도로를 자율주행버스 등과 공유하는 다목적도로의 형태로 운영하여 일반차를 이용하는 시민의 저항을 최소화할 필요가 있음

9) 진출부와 합류부

○ 대도시의 경우 도시 내 도로 역시 순환도로를 갖추거나 고가도로 등으로 인해 진출부와 합류부가 존재함

○ 자율주행이 활성화할 시 진출부와 합류부에서 차량은 도로변 인프라와의 통신(V2I)을 통행 차량 간 속도 조절과 간격 조절 등을 통해 협력주행으로 운행할 것으로 예상

○ 자율주행자동차와 일반 자동차의 혼재 상황에서 진출부와 합류부의 교통흐름에 대한 연구는 고속도로를 중심으로 이루어지고 있음. 따라서 설계기준 역시 고속도로에 관련되어 연구가 진행 중

- 도로상의 교통량(Level of Service: LOS[34])과 자율주행자동차와 일반차량의 혼입률, 전용차로 도입 정도에 따라 차이가 발생
- LOS E, 전용차로가 1차로에 설치, 혼입률 10~20% 상태에서는 일반차로에서는 합류부와 진출부에서 약 10%의 교통량 감소 및 지체가 발생
- LOS E, 전용차로가 3차로에 설치, 혼입률 30~50% 상태에서는 군집주행 차량의 영향으로 인해 합류 차량 진입 실패와 지체가 발생, 진출부 역시 차로변경 실패, 2차로 지체가 발생
- 반면 전용차로가 없는 상태에서는 자율주행자동차의 군집주행이 제한되어 진출입부와 인근 차로에서의 지체, 진출입 실패가 거의 발생하지 않음
  - ◆ 단 전용차로 상에서는 군집주행이 가능하므로 차량의 흐름은 더 원활해짐

○ 진출입부에서 자율주행자동차의 원활한 합류, 분류 등을 위해 V2I를 위한 인프라 필요함

---

34) 일반적으로 도로의 통과 교통량 수준은 level of Service(LOS)로 나타내며, LOS는 A~FFF의 8단계로 구분함. LOS A가 교통 흐름이 가장 원활한(교통량이 적은) 상태이며, 일반적인 도로설계 기준은 LOS D, 통행 정체는 LOS E부터 발생하는 것으로 판단

○ 자율주행전용차로와 관련하여 전용차로가 시작하고 끝나는 지점에 대해서는 자율주행자동차가 주행 차로 선택에 혼란이 없도록 차로 가이드라인을 표시가 필요기 있음

10) 자율주행자동차 허브 및 전용주차장

○ 모빌리티 허브는 자율주행자동차를 위한 전용 시설로 빈번히 언급되는 시설임

○ 모빌리티 허브는 다음과 같은 기능을 포함할 것으로 예상됨

- 일반 자율주행자동차와 로보택시와 같은 자율주행공유자동차와 철도, 마이크로 모빌리티와 같은 타 교통수단 간의 환승
- 자율주행자동차의 충전과 주차를 위한 공간
- 도시 내 자율주행교통수단을 관리 및 관제하는 관제센터
- 기타 다양한 상업 및 업무시설

[그림 3-17] 자율주행 모빌리티 허브 컨셉

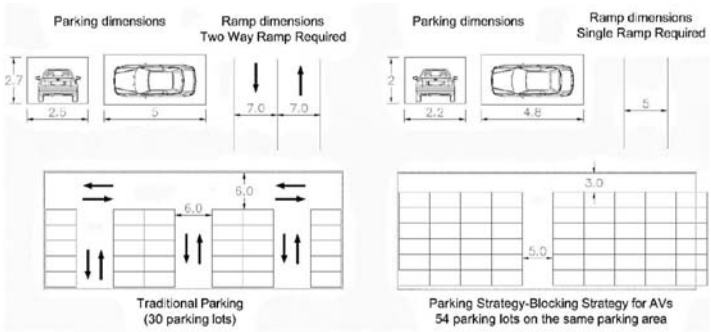
출처 : National Parking Association (2018)

○ 자율주행자동차 전용 주차장의 경우 기존 주차장에 비해 높은 효율로 차량을 관리할 수 있을 것으로 판단됨

- 일반 차량에 비해 최대 2.5배 더 주차가 가능할 것을 전망(Gavanas, 2019)
- 다만, 자율주행자동차에 대한 원격조정이 가능하다는 전제가 필요하며,

소유자의 원격조정에 대한 동의가 필수

- 자율주행자동차의 비율이 낮은 경우 주차공간을 자율주행자동차 전용과 일반차용으로 구분할 필요가 있어 시설 비용의 증가와 관리 어려움이 존재



HDVs 주차 AVs 주차

[그림 3-18] HDV와 AV를 위한 주차장 단면 설계 비교

출처 : AbdelGawad and Othman(2020)

3. 물리적 인프라의 단계별 개선 및 도입 시기

□ 단계별 개선 방향

○ 현재까지의 기존 연구를 종합하면 자율주행자동차의 비율이 증가함에 따라 개선 또는 새로 설치가 필요한 물리적 인프라를 크게 4가지 유형으로 분류할 수 있음

○ 유형 1 : 현재도 개선이 가능한 항목으로 일반차량 역시 도움을 받을 수 있는 인프라 항목

- 노면표시 및 도로표지판, 차선마킹 등 도로의 교통시설
- 도로의 진출입와 합류부, 교차로

○ 유형 2 : 자율주행자동차의 비율이 30~40% 정도가 되어야 실질적인 유용성이 있지만, 10% 정도의 초기 단계에서도 도입한다면 자율주행자동차 활성화에 도움이 되는 인프라 항목으로 주로 공간설계 요소

- 자율주행자동차전용차로

- Flex Zone 또는 보도변 공간 재설계
- 모빌리티 허브 및 전용주차장

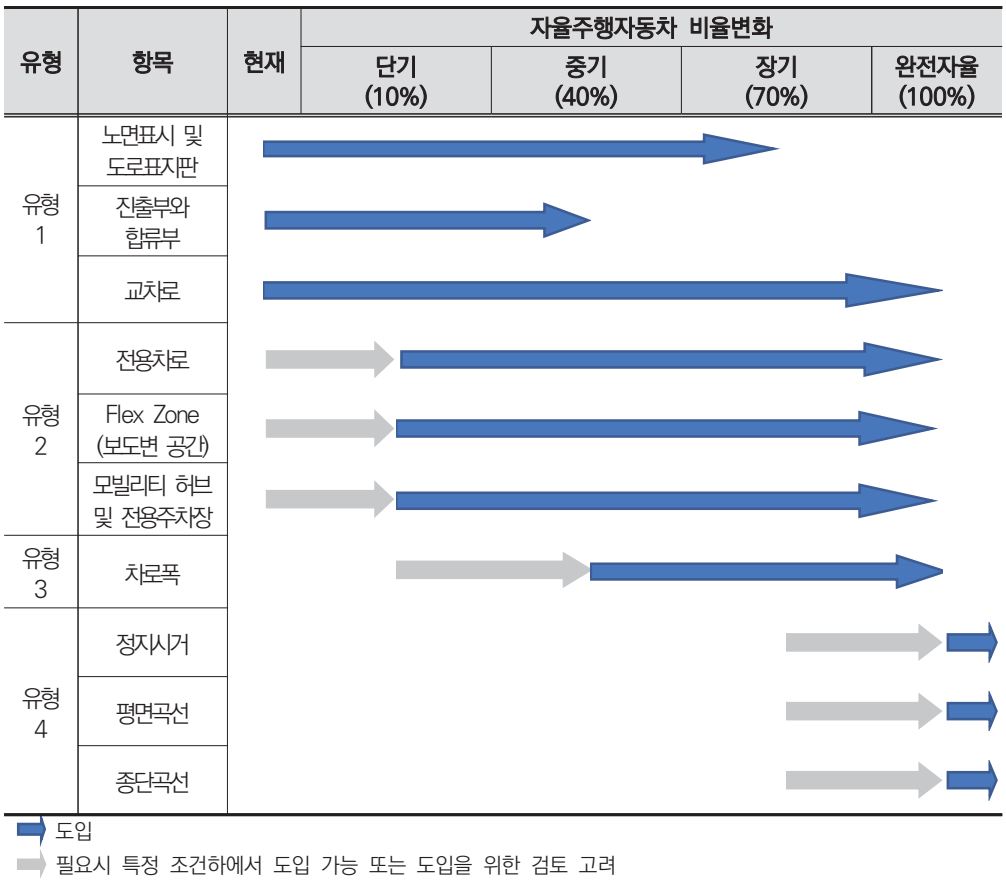
○ 유형 3 : 안전문제 등으로 인해 자율주행자동차의 비율이 50% 정도가 된 후 특정 조건하에서 도입할 수 있는 인프라 항목

- 차로폭

○ 유형 4 : 자율주행자동차 100%에서만 실질적으로 도입이 가능한 인프라 항목

- 정지시거, 평면곡선, 종단곡선 등의 도로설계 요소

[표 3-25] 인프라의 단계별 개선 로드맵



□ 인프라별 개선 방향 시나리오

○ 노면표시 및 도로표지판, 차선표시 등

- 노면표시와 도로표지판 등은 지금부터 개선이 가능한 항목으로 법 규정을 강화하고, 현재의 법 규정으로도 필요한 조치를 할 수 있으므로 시행 필요

[표 3-26] 노면표시 및 도로표지판 개선 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	노면표시 시인성 강화 도로표지판 크기 확대 표지판 QR 코드 도입 무단횡단금지시설을 활용한 중앙분리대 도입
~중기(40%)	
~장기(70%)	
완전자율(100%)	차선만 유지, 노면표시 및 도로표지판 폐지, C-ITS 또는 이에 준하는 시스템으로 완전 대체

○ 진출부와 합류부

- 차량의 진출부와 합류부는 자율주행자동차가 가장 곤란을 많이 겪는 지점의 하나임
- 따라서 자율주행자동차의 상용화 초기부터 이에 대한 대책이 필요
- 우선적으로 자율주행자동차가 진출부 등에서 차선의 혼란을 최소화하기 위한 노면표시와 V2I 시설의 설치가 필요
- 또한 사전에 QR 코드 표지판 등으로 미리 차선변경과 준비가 이루어지도록 할 필요가 있음

[표 3-27] 진출부와 합류부 개선 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	자율주행자동차의 진출입을 지원하기 위한 노면표시 및 V2I 시설 설치
~중기(40%)	
~장기(70%)	대부분의 경우 C-ITS나 V2V 통신으로 대체 가능
완전자율(100%)	C-ITS 또는 V2V 통신으로 대체 가능

○ 교차로

- 자율주행자동차의 비율이 10%이내인 기간동안에는 현상태를 유지하는 것이 적합하고, 부분적으로 신호최적화 기법을 도입, 회전교차로 등에서는 센스를 설치하여 자율주행자동차의 진입을 지원
- 또한 무신호 교차로에는 접근 차량 감지 센서와 정보제공 시스템을 설치하여 자율주행자동차를 위한 차량 접근 정보제공
- 중장기적으로는 하이브리드 방식의 신호제어 방식 도입
- 완전자율시에는 자율제어 도입 및 점진적으로 신호기 폐지

[표 3-28] 교차로 개선 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	현 상태 유지 및 황색신호시간 조정, 교통신호기 설치 위치 조정, 부분적으로 신호최적화(Signal Opimization) 신호제어를 도입 회전교차로에 센서 등을 통한 사고 발생 사전 예방시설 설치 무신호 교차로 폐지 및 자율주행자동차에 접근 자동차 정보 제공 시스템 설치
~중기(40%)	신호제어를 하이브리드 방식 도입
~장기(70%)	
완전자율(100%)	신호제어를 자율제어 방식 도입 및 신호기 폐지

○ 전용차로

- 자율주행자동차의 비율이 10%이내에서는 전용차로의 필요성이 거의 없으나, 자율주행셔틀 등의 원활한 운행을 위해 설치는 가능
- 자율주행자동차의 비율이 40%이상이 되면 보도변 (또는 지역의 필요에 따라 중앙차선) 전용차로를 설치 필요
- 자율주행자동차의 비율이 70% 이상이 되면 자율주행전용차로가 아닌 일반차량을 위한 전용차로의 도입이 필요
- 완전자율주행일 경우 전용차로 폐지

[표 3-29] 전용차로 도입 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	도입 불필요 도입한다면 보도변 전용차로로 도입하며, 자율주행셔틀, 로보택시 등 공유차량, 자율주행버스의 공동 이용을 고려하여 설계
~중기(40%)	보도변 전용차로로 도입 자율주행 승용차, 자율주행셔틀, 로보택시 등을 위해 활용
~장기(70%)	자율주행자동차 전용도로가 아닌 일반차량 전용도로 도입 필요
완전자율(100%)	전용도로 폐지

○ 보도변 공간 재설계(Flex Zone)

- 단기적으로는 보도변 공간을 자율주행자동차를 위한 접근성 향상과 드랍존 및 픽업존 역할 수행, 유사시 긴급피난 구역으로 활용할 수 있도록 재설계 필요
- 자율주행이 활성화된 중기 이후에는 실질적인 Flex Zone의 개념을 도입하여 공간을 활용할 필요가 있음
  - ◆ 공간 재설계와 Flex Zone 도입의 방안과 기준에 대해서는 추가적인 연구가 필요

[표 3-30] 보도변 공간(Flex Zone) 개선 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	드랍존 수준의 보도변 공간 개선 Flex zone의 개념 중 교통접근성 중심으로 도입 자율주행자동차 긴급피난 구역 도입
~중기(40%)	Flex Zone 도입
~장기(70%)	
완전자율(100%)	

○ 자율주행자동차 모빌리티 허브 등

- 자율주행자동차가 활성화 되지 않아도 목표도시에 설치할 공간을 사전 확보가 필요
- 단기적으로 모빌리티 허브 등의 시설은 자율주행자동차와 일반차량을 동시에 고려한 허브로 설계해야 함
- 이를 위해 타 교통수단과의 연계를 최적화해야 함
- 모빌리티허브와 같은 시설은 한번 건립하면 장기간 사용해야 하므로 설계자체는 완전자율주행시기나 자율주행이 보편화된 시기를 고려하여 동선 설계 등 시설 설계 필요
- 일반차량을 위한 구간 역시 자율주행자동차를 위해 전환이 가능하도록 사전에 고려해 설계할 필요가 있음

[표 3-31] 자율주행자동차 모빌리티 허브 도입 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	자율주행자동차 도입 이전에 부지 확보 모빌리티 허브를 도입하되, 일반 차량도 이용할 수 있는 허브 시설 필요 (일반차량의 이용 비율이 더 큼) 관제 센터와 충전시설, 자율주행공유차량(로보택시) 등을 위한 환승공간 및 주차 공간을 자율주행자동차 운행 규모에 맞게 조정
~중기(40%)	자율주행자동차와 일반차량의 비율에 맞도록 균형잡힌 시설 유지
~장기(70%)	주 이용수단을 자율주행자동차가 되고 일반차량은 규모에 맞도록 시설 축소
완전자율(100%)	자율주행자동차만을 위한 시설로 변경

○ 차로폭

- 차로폭은 일반차량의 경우 운전자의 심리적 안정감과 밀접한 연관이 있으므로 쉽게 변경이 어려우므로 자율주행자동차 도입 초기에는 현재의 기준을 계속 적용 필요
- 그러나 중장기적으로 자율주행전용차로의 도입 여부와 활용방안에 따라 차로폭을 최대 2.5m로 축소가능(단, 전용차로의 자율주행자동차 100%)
- 자율주행자동차의 비율이 40%이상이 되는 시점에는 차로를 2.75m수

준으로 축소

- 완전자율일 경우는 2.5m로 축소

[표 3-32] 차로폭 변경 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	현 상태 유지
~중기(40%)	차로폭 축소는 자율주행전용차로부터 적용 필요 전용차로의 경우 100% 자율주행자동차의 이용만을 고려한다면 2.5m 로 축소 전용차로를 다른 목적에 의한 사용을 허용하는 다목적 차로로 설계한다면 2.75m 로 설계
~장기(70%)	단계적으로 도로의 폭을 2.75m로 축소
완전자율(100%)	모든 차로의 폭을 2.5m로 축소

○ 정지시거, 평면곡선, 종단곡선 등 도로 선형 개선 요소

- 도로 선형 개선은 완전자율주행일 경우 변경이 가능한 항목으로 개선이 쉽게 이루어지기 어려움
- 자율주행자동차의 상용화 진척 단계에 따라 실질적인 적용 가능성이 결정될 것으로 장기간 현상태를 유지하는 것이 바람직함
  - ◆ 현재의 도로선형 설계 지침이 자율주행자동차의 운행 안전에 영향을 미치지 못함

[표 3-33] 도로 선형 개선 시나리오(안)

혼입률 변화	인프라 변경 방향
~단기(10%)	변경 없음
~중기(40%)	
~장기(70%)	
완전자율(100%)	자율주행자동차에 최적화된 도로선형으로 전면 개선

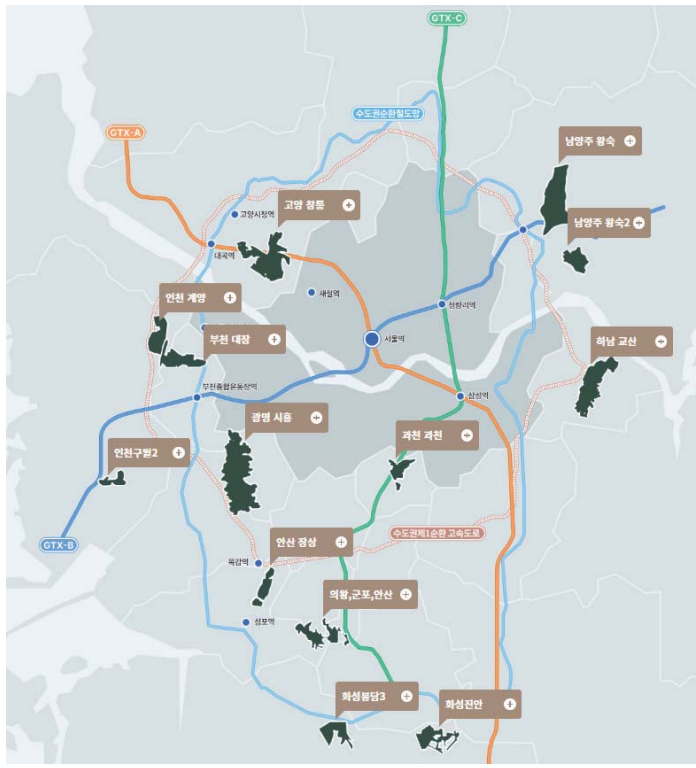
제 4 장
3기 신도시 도로 네트워크 현황 및 특징

LAND & HOUSING INSTITUTE

제4장 3기 신도시 도로 네트워크 현황 및 특징

1. 3기 신도시의 개요

- ○ 연구의 대상인 3기 신도시는 총 13개의 사업지구로 구성되어 있으며, 이 중 6개 지구가 2029년 입주 예정이며, 기본계획과 교통영향평가를 완료함
- ○ 본 장에서는 먼저 6개의 3기 신도시 지구의 토지이용계획, 인구 · 주택 계획, 도로계획, 대중교통운영계획을 정리함
- ○ 그리고 6개 지구의 도로 네트워크의 특징을 파악하고, 모델링 대상지를 선정함



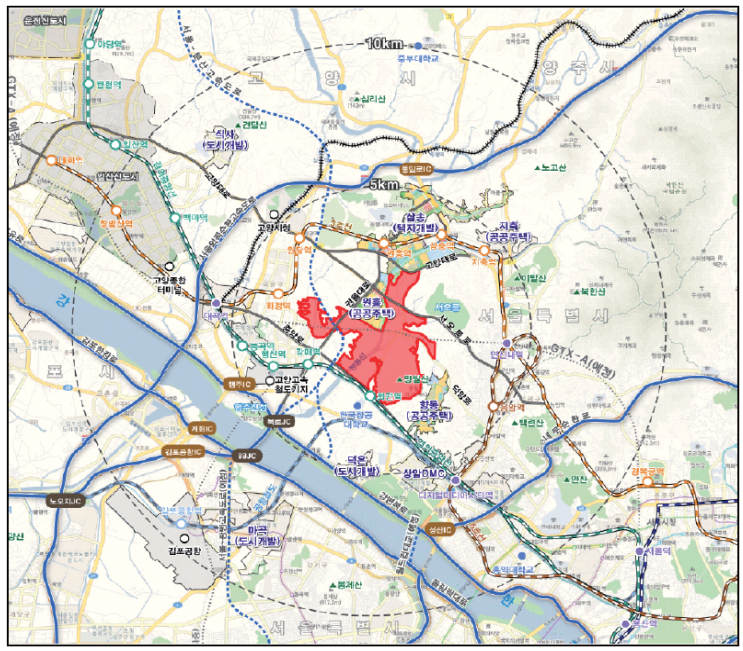
[그림 4-1] 3기 신도시의 위치 총괄도

출처 : 3기 신도시 홈페이지

2. 고양창릉지구

2.1. 위치

- ○ 고양 창릉지구는 경기도 고양시 덕양구 원흥, 동산, 용두, 향동, 화전, 도내, 행신, 화정, 성사동 일원에 위치함
- ○ 지구 반경 5km 이내에 서울~문산 고속도로가 남북으로 관통하며, 주변으로 삼송, 원흥, 향동 공공택지구가 있음
- ○ 주변 인접지로 서쪽으로 고양 신도시, 남쪽으로 마곡지구, 동쪽 10km 내에 서울시와 접하여 주요 도시와의 접근성이 좋음



[그림 4-2] 사업지 위치도 : 고양창릉지구

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

2.2. 토지이용계획

○ 총면적 7,890,019㎡의 부지에 주택건설용지 1,819,327㎡, 공공시설용지 5,675,185㎡, 유보지 395,507㎡로 계획함

○ 전체 면적 중 공원녹지의 비율이 38.6%로 가장 많고, 주택건설용지가 23.1%를 차지함

○ 도로의 경우 일반도로와 보행자전용도로를 합쳐 15.1% 수준

[표 4-1] 토지이용계획 : 고양창릉지구

구 분		면적(㎡)	구성비(%)
합 계		7,890,019	100.0
주택건설용지		1,819,327	23.1
상업시설용지		57,014	0.7
복합시설용지		211,405	2.7
도시지원시설		728,583	9.2
공원녹지		3,050,023	38.6
기타		436,074	5.6
도로	일반도로	1,155,372	14.6
	보행자전용도로	36,714	0.5
	소계	1,192,086	15.1
유보지		395,507	5.0

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

2.3. 인구 및 주택계획

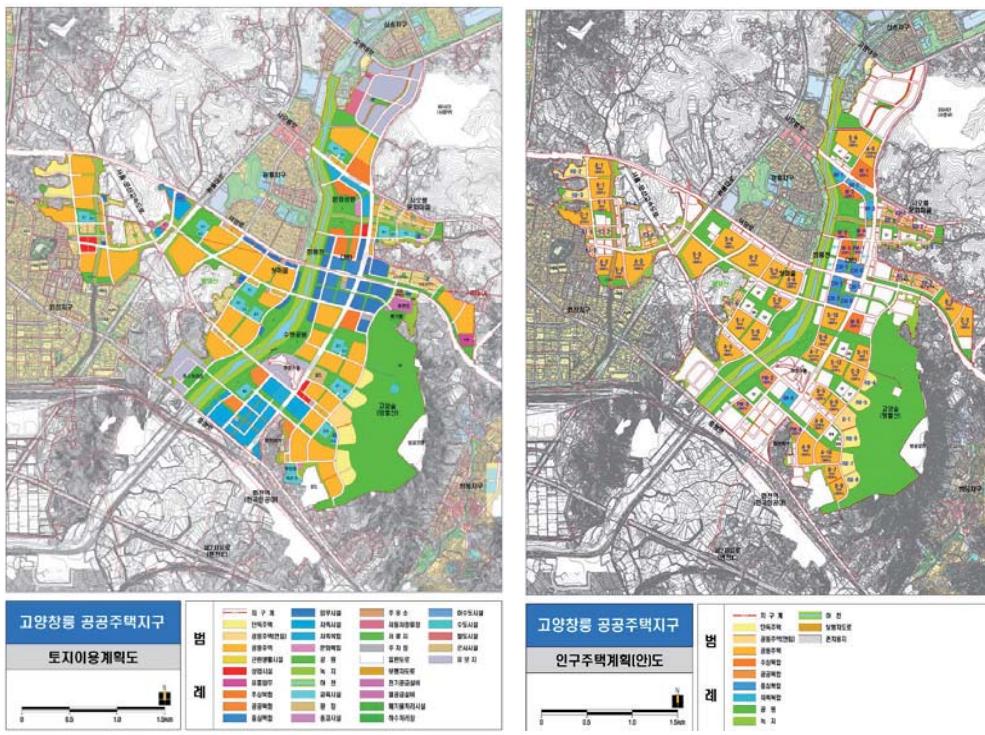
○ 총 인구수는 84,564인으로 단독주택 2,856인, 공동주택(연립) 823인, 공동주택 61,245인, 주상복합 8,291인, 공공복합 6,100인, 중심복합 3,975인으로 계획함

○ 총 세대수는 38,398세대로 단독주택 1,189세대, 연립주택 343세대, 공동주택 27,434세대, 주상복합 3,455세대, 공공복합 3,812세대, 중심복합 1,656세대로 구성함

[표 4-2] 고양창릉지구 인구 및 주택건설 계획

구 분	면적(㎡)	계획호수(호)	수용인구(인)
계	2,102,703	38,398	84,564
단독주택(R)	323,596	1,189	2,856
연립주택(D)	39,975	343	823
공동주택(A, B, C, S)	1,369,774	27,434	61,245
주상복합(M)	139,202	3,455	8,291
공공복합(PM)	72,203	3,812	6,100
중심복합(CM)	87,289	1,656	3,975

출처 : 한국토지주택공사(2021a)



토지이용계획도 주택건설계획도

[그림 4-3] 토지이용 및 주택건설계획도 : 고양창릉지구

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

2.4. 도로계획

○ 사업지의 도로망 체계는 주간선도로는 주변 택지지구인 삼송, 원흥, 화정 지구와의 연결체계를 구축하고, 통과 교통량을 최소화하기 위한 보조간선 도로망을 구축함

○ 주요 가로망으로 화랑로(2~6차로)가 사업지를 남북으로 관통하고, 서오릉로(4~6차로) 및 덕양로(4~6차로)가 사업지를 동서로 관통

○ 서울도심 접근성 개선을 위해 일산~서오릉로 연결도로 신설과 서오릉로 확장을 계획

○ 서울방면 주요 교통수요를 분산하고자 중앙로~제2자유로 연결로를 신설하고, 도로용량 확보를 위해 수색교 확장(7차로→9차로), 강변북로 확장(10차로→12차로), 덕은2교 교차로 개선을 시행할 계획

[표 4-3] 고양창릉지구 도로계획

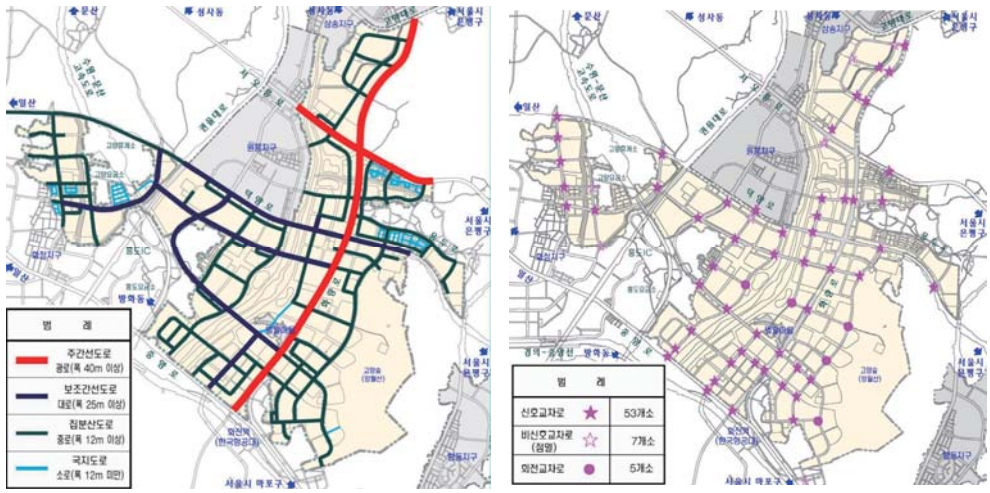
구 분	내용
간선도로	• 통과 교통량의 처리를 주로 담당하는 화랑로, 서오릉로등 광로급 도로를 주간선 도로로 계획 • 화랑로와 서오릉로는 통과교통의 연속성을 유지하기 위하여 지하차도를 계획 • 서오릉로상의 지하차도는 기 운영중인 지하차도와의 연속성을 고려하여 동서방면으로 계획 • 화랑로의 지하차도는 화랑로에 인접한 공동주택지의 주거환경을 고려하여 남북축으로 계획 • 지하차도 설치구간의 U타입구간 램프부는 병목현상을 방지하기 위하여, 2차로로 계획하였으며, 광역교통개선대책에 의하여 BRT가 계획되어 있는 화랑로는 버스전용차로를 포함한 3차로로 계획
보조간선도로	• 내부의 동서축을 담당하는 덕양로를 포함한 대로급 도로로 설정 • 주간선도로와 연계하여 사업지 내부의 주요한 통행을 담당 • 도로변 개별 시설물로의 직접적인 진출입은 최대한 지양
집산도로	• 도시교통의 집산기능 담당하는 도로로 중로급 도로로 구성 • 사업지 내부 개별필지로의 접근이 가능하도록 계획
국지도로	• 통과교통을 배제하는 방향으로 설계 및 운영되며 버스통행이 없고 보행자 통행이 차량보다는 우선권을 가짐 • 단독주택단지 및 근린생활시설 주변의 도로로서 폭원 8~10m로 계획

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

○ 차로 유형은 주간선도로는 왕복 2차~12차로, 보조간선도로는 왕복 5차~6차로, 집산도로는 왕복 2차~4차로로 구성되어 있음. 국지도로는 보차혼용도로와 왕복 2차로로 구성됨

○ 도로폭은 최소 8m에서 최대 58.5m로 구성됨

○ 사업지내 신호교차로 53개소, 비신호교차로(점멸) 7개소, 집산도로상에 5개의 회전교차로를 설치함



도로망 체계도 교차로 운영계획

[그림 4-4] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 고양창릉지구

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

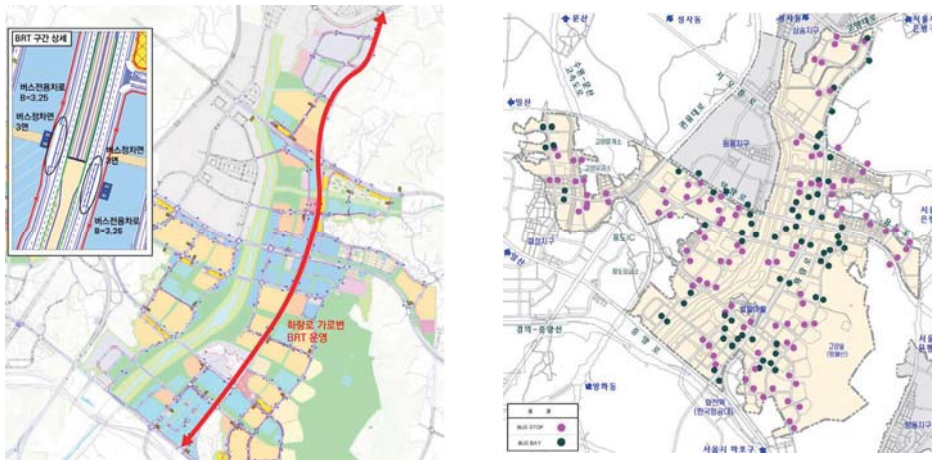
2.5. 대중교통계획

○ 고양창릉지구의 광역교통개선대책에 의거하여 가로변 버스전용차로(BRT)를 화랑로에 설치함

○ 버스정차로 인한 교통혼잡을 완화하기 위해 가로변 버스전용차로 설치구간에 버스베이를 설치하였고, 그 외 구간에는 일반 버스정류장을 설치함

- 대중교통거점 : 버스베이 5면, 2개소
- 가로변 BRT운영구간 : 버스베이 3면, 18개소

- 간선도로 및 대중교통거점 : 버스베이 2면, 9개소
- 주요 혼잡구간 : 버스베이 1면, 40개소
- 일반 버스정류소 : 97개소



BRT 설치계획 버스정류장 설치계획

[그림 4-5] BRT 및 버스정류장 설치계획 : 고양창릉지구

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

2.6. 통행수요예측

- ○ 1일 총통행량은 2030년 기준 1,033,676 통행, 2034년 기준 1,023,876 통행
  - 승용차의 경우 2030년 기준 유입과 유출 각 236,974 통행, 2034년 기준 유입과 유출 각 234,436 통행 발생
- ○ 첨두시의 경우 2030년 기준 197,736 통행, 2034년 기준 195,941 통행
  - 승용차의 경우 유입 36,368 통행, 유출 54,204 통행, 2034년 유입 35,795 통행, 유출 53,855 통행 발생
- ○ 외부통행보다는 내부 통행량이 50% 정도 더 많음
- ○ 수단별 총통행량은 승용차, 버스, 지하철, 도보 및 기타, 택시 순이었으며, 승용차 통행이 전체 통행량의 46% 수준이었음
- ○ 다른 지역에 비해 첨두시 통행량의 비율(19.1%)이 총통행량에 비해 높음

[표 4-4] 고양창릉지구 수단 통행량 예측

단위 : 통행

구분			승용차		택시		버스		지하철		도보 및 기타		합계		
			유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	계
내부 통행 (1)	첨두시	2030년	22,130	35,444	682	1,084	10,299	15,546	3,434	5,105	6,705	9,895	43,250	67,074	110,324
		2034년	21,803	35,173	675	1,078	10,122	15,389	3,389	5,076	6,697	9,972	42,686	66,688	109,374
	1일 통행량	2030년	156,796	156,796	4,867	4,867	70,950	70,950	23,375	23,375	46,680	46,680	302,668	302,668	605,336
		2034년	155,044	155,044	4,819	4,819	69,974	69,974	23,146	23,146	46,838	46,838	299,821	299,821	599,642
외부 통행 (2)	첨두시	2030년	14,238	18,760	388	550	6,150	8,270	13,914	16,641	3,424	5,077	38,114	49,298	87,412
		2034년	13,992	18,682	380	547	6,032	8,218	13,674	16,571	3,396	5,075	37,474	49,093	86,567
	1일 통행량	2030년	80,178	80,178	2,330	2,330	35,670	35,670	74,265	74,265	21,727	21,727	214,170	214,170	428,340
		2034년	79,392	79,392	2,308	2,308	35,224	35,224	73,527	73,527	21,666	21,666	212,117	212,117	424,234
총 통행량 (1+2)	첨두시	2030년	36,368	54,204	1,070	1,634	16,449	23,816	17,348	21,746	10,129	14,972	81,364	116,372	197,736
		2034년	35,795	53,855	1,055	1,625	16,154	23,607	17,063	21,647	10,093	15,047	80,160	115,781	195,941
	1일 통행량	2030년	236,974	236,974	7,197	7,197	106,620	106,620	97,640	97,640	68,407	68,407	516,838	516,838	1,033,676
		2034년	234,436	234,436	7,127	7,127	105,198	105,198	96,673	96,673	68,504	68,504	511,938	511,938	1,023,876

첨두시 : 18:00 ~ 20:00

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

3. 부천대장지구

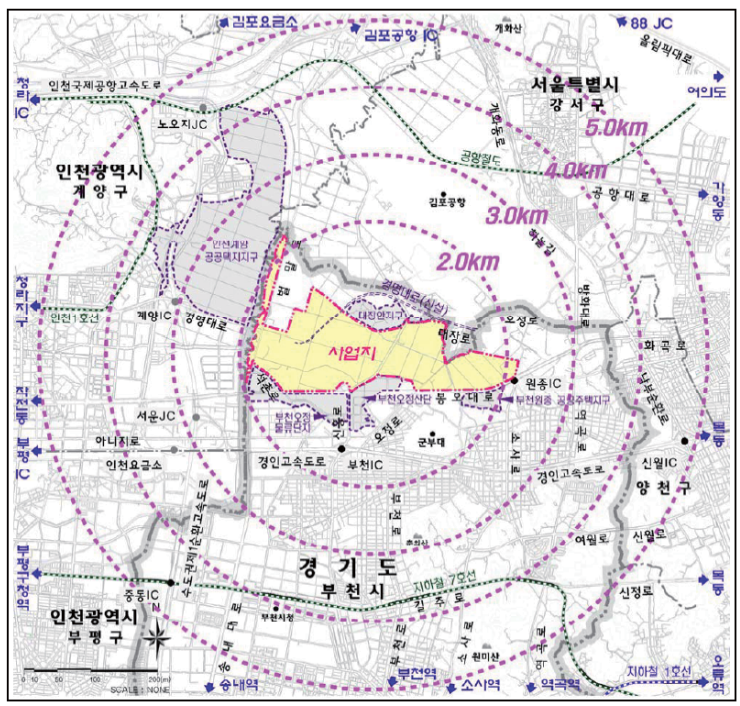
3.1. 위치

○ 부천 대장지구는 경기도 부천시 대장동, 오정동, 원종동, 삼정동 일원에 위치함

○ 계양구, 마곡지구 등 서울과 인천의 주요 도시와 인접하여 있으며, 김포공항과도 접함

○ 수도권 제1순환고속도로, 경인고속도로, 광명서울고속로(예정) 이용시 서울 접근성이 우수하며, 봉오대로와 벌말로가 연접해 있고 오정로(국도6호선)가 사업지를 관통함

○ 대상지 서남측으로 서운산단, 오정물류단지, 오정산단이 위치함



[그림 4-6] 사업지 위치도 : 부천대장지구

출처 : 한국토지주택공사(2021b)

3.2. 토지이용계획

○ 총면적 3,419,544㎡의 부지에 주택건설용지 729,482㎡, 공원용지 959,904㎡, 훼손지 복구용지 142,309㎡로 계획함

○ 공원 및 녹지가 28.1%로 가장 많은 비중으로 계획되어 있으며, 다음으로 주택건설용지가 21.3%를 차지함

○ 도로는 613,869㎡으로 전체면적의 18%에 해당

[표 4-5] 토지이용계획 : 부천대장지구

구 분		면적(㎡)	구성비(%)
합 계		3,419,544	100.0
주택건설용지		729,482	21.3
상업시설용지		56,055	1.6
복합시설용지		248717	7.3
도시지원시설		451,263	13.2
공원녹지		959,904	28.1
기타		151,178	4.4
도로	일반도로	611,572	17.9
	보행자전용도로	2,2 97	0.1
	소계	613,869	18.0
유보지		66,767	2.0
훼손지 복구용지(공원)		142,309	4.1

출처 : 한국토지주택공사(2021b)

3.3. 인구 및 주택계획

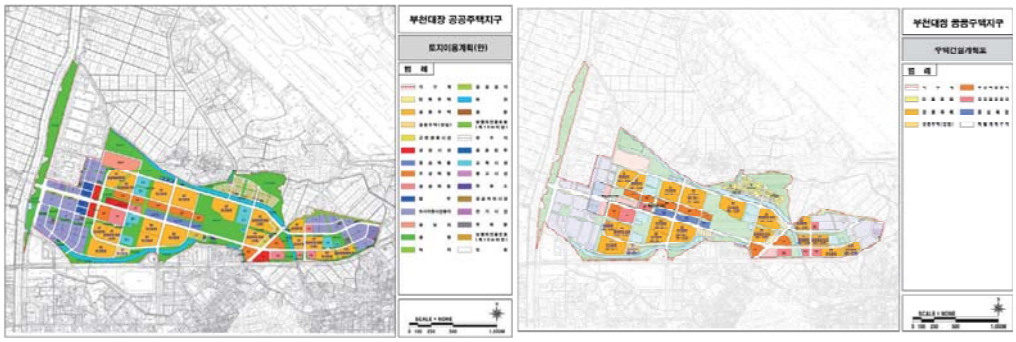
○ 총 세대수는 25,921세대로 단독주택 199세대, 연립주택 120세대, 공동주택 19,181세대, 기타 복합용지 주택 6,421세대로 계획

○ 총 인구수는 55,820인으로 단독주택 478인, 연립주택 288인, 공동주택 42,203인, 기타 복합용지 12,851인으로 계획

[표 4-6] 부천대장지구 인구 및 주택건설 계획

구 분	면적(㎡)	계획호수(호)	수용인구(인)
계	1,197,010	25,921	55,820
단독주택(R)	50,867	199	478
연립주택(D)	14,026	120	288
공동주택(A, B)	883,400	19,181	42,203
주상복합(RC)	126,801	2735	6563
공공복합(PC)	78,362	3,200	5,121
중심복합(RB)	43,554	486	1,167

출처 : 한국토지주택공사(2021b)



토지이용계획도　　주택건설계획도

[그림 4-7] 토지이용 및 주택건설계획도 : 부천대장지구

출처 : 한국토지주택공사(2021b)

3.4. 도로계획

○ 주간선도로의 경우 남북방향은 국도39호선(벌말로), 동서방향은 봉오대로가 담당하며, 인천방향 연결에 중점을 둠

○ 또한, 인천광역시를 동서로 관통하여 벌말로와 연결되는 경명대로는 광역교통개선대책에서 본 사업지의 지하차도를 일부 경유하여 오정로와 접속하도록 계획

○ 사업지 주변으로 신흥로, 오정로, 상오정로, 소사로가 보조간선도로 기능을 담당하며 사업지내 남북간 도로와 연계됨

○ 차로 유형은 주간선도로와 보조간선도로를 구성하는 광로와 대로의 경우에는 왕복 5차~9차로, 보조간선 일부와 그 이하의 도로를 구성하는 중로 및 소로는 왕복 2차~4차로로 구성됨

○ 도로폭은 최소 8m에서 최대 48.75m로 구성됨

[표 4-7] 부천대장지구 도로계획

구 분	내용
간선도로	• 지역간 간선도로 기능의 유지를 위해 개별시설물로의 진출입은 불가 • 접속도로에는 진출입 가감속차로를 설치
보조간선도로	• 사업지내 대로급의 보조간선도로는 홀수차로인 5차로로 계획(좌회전차로 설치)하여 좌회전 분리신호가 가능하도록 계획 • 개별시설물로의 직접적인 진출입은 최대한 지양 • 불가피한 경우 적정 교차로간 이격거리를 확보하고, 유턴처리를 통해 보조간선도로의 기능을 유지
집산도로	• 도로폭원 12~25m로 계획 • 도로폭원 16m 이상도로는 능률차로로 계획
국지도로	• 단독주택 및 근린생활시설 주변의 도로로서 폭원 8~10m로 계획

출처 : 한국토지주택공사(2021b)

○ 사업지내 신호교차로 36개소, 비신호교차로(점멸) 13개소, S-BRT 지하운영구간에 1개의 회전교차로를 설치함

도로망 체계도　　교차로 운영계획

[그림 4-8] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 부천대장지구

출처 : 한국토지주택공사(2021b)

3.5. 대중교통계획

□ S-BRT

○ 사업지구를 동서로 관통하는 S-BRT를 계획하고 있으며, 서측 계양지구, 경명대로, 굴포천 통과구간을 제외하고 대부분의 구간을 지하에 계획

- 이용수요가 많은 용도복합지역, 중앙문화공원에 정류장 3개소를 계획 (정류장 간 이격거리 약 1.0km)
- 승강장은 굴절버스 정차에 맞춰 설계 : 폭 5.0m, 길이 50m

○ 정차면 제원 : 폭 3.0m, 길이 20m(굴절버스 기준)

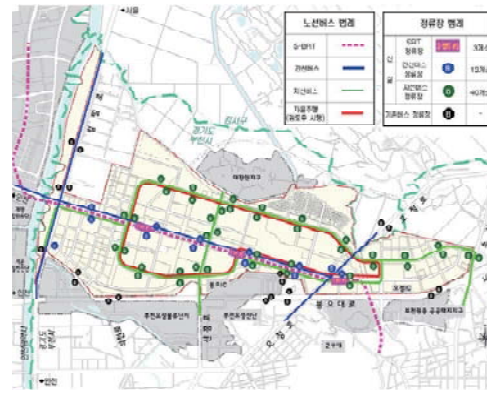
□ 일반 노선버스 정류장

○ 광역 및 간선버스 정류장은 S-BRT와 광역/간선버스 노선 간 환승을 고려하여 정류장을 계획

○ 간선버스 정류장 13개소, 지선버스 정류장 40개소 설치

○ 주간선 및 보조간선 기능을 담당하는 도로상에 설치한 버스정류장은 버스베이를 설치

BRT 노선 및 정류장 설치계획



버스노선 및 정류장 설치계획

[그림 4-9] BRT 및 버스노선 계획 : 부천대장지구

출처 : 한국토지주택공사(2021b)

3.6. 통행수요예측

○ 1일 총통행량은 2030년 기준 478,248 통행, 2034년 기준 477,062 통행
- 승용차의 경우 2030년 기준 유입과 유출 각 113,191 통행, 2034년 기준 유입과 유출 각 112,344 통행 발생

○ 첨두시의 경우 2030년 기준 47,294 통행, 2034년 기준 47,184 통행
- 승용차의 경우 유입 15,459 통행, 6,175 통행, 2034년에는 유입 15,421 통행, 유출 6,052 통행이 발생

○ 내부 통행량이 외부 통행량보다 47% 더 많음

○ 수단별 총통행량은 승용차, 버스, 지하철, 도보 및 기타, 택시 순이었으며, 승용차 통행이 전체 통행량의 47% 수준이었음
- 버스통행량과 지하철통행량의 차이가 거의 없음

[표 4-8] 부천대장지구 수단 통행량 예측

단위 : 통행

구분			승용차		택시		버스		지하철		도보 및 기타		합계		
			유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	계
내부 통행 (1)	첨두시	2030년	9,848	2,865	693	205	4,376	1,618	3,893	1,940	1,309	1,594	20,119	8,222	28,341
		2034년	9,823	2,816	702	209	4,364	1,615	3,906	1,945	1,317	1,641	20,112	8,226	28,338
	1일 통행량	2030년	76,743	76,743	9,570	9,570	27,734	27,734	26,350	26,350	22,343	22,343	162,740	162,740	325,480
		2034년	76,213	76,213	9,711	9,711	27,639	27,639	26,428	26,428	22,478	22,478	162,469	162,469	324,938
외부 통행 (2)	첨두시	2030년	5,611	3,310	353	85	2,562	1,468	2,276	1,962	647	679	11,449	7,504	18,953
		2034년	5,598	3,236	359	89	2,555	1,443	2,285	1,937	653	691	11,450	7,396	18,846
	1일 통행량	2030년	36,448	36,448	3,572	3,572	13,902	13,902	14,120	14,120	8,342	8,342	76,384	76,384	152,768
		2034년	36,131	36,131	3,625	3,625	13,816	13,816	14,101	14,101	8,389	8,389	76,062	76,062	152,124
총 통행량 (1+2)	첨두시	2030년	15,459	6,175	1,046	290	6,938	3,086	6,169	3,902	1,956	2,273	31,568	15,726	47,294
		2034년	15,421	6,052	1,061	298	6,919	3,058	6,191	3,882	1,970	2,332	31,562	15,622	47,184
	1일 통행량	2030년	113,191	113,191	13,142	13,142	41,636	41,636	40,470	40,470	30,685	30,685	239,124	239,124	478,248
		2034년	112,344	112,344	13,336	13,336	41,455	41,455	40,529	40,529	30,867	30,867	238,531	238,531	477,062

첨두시 : 08:00 ~ 09:00

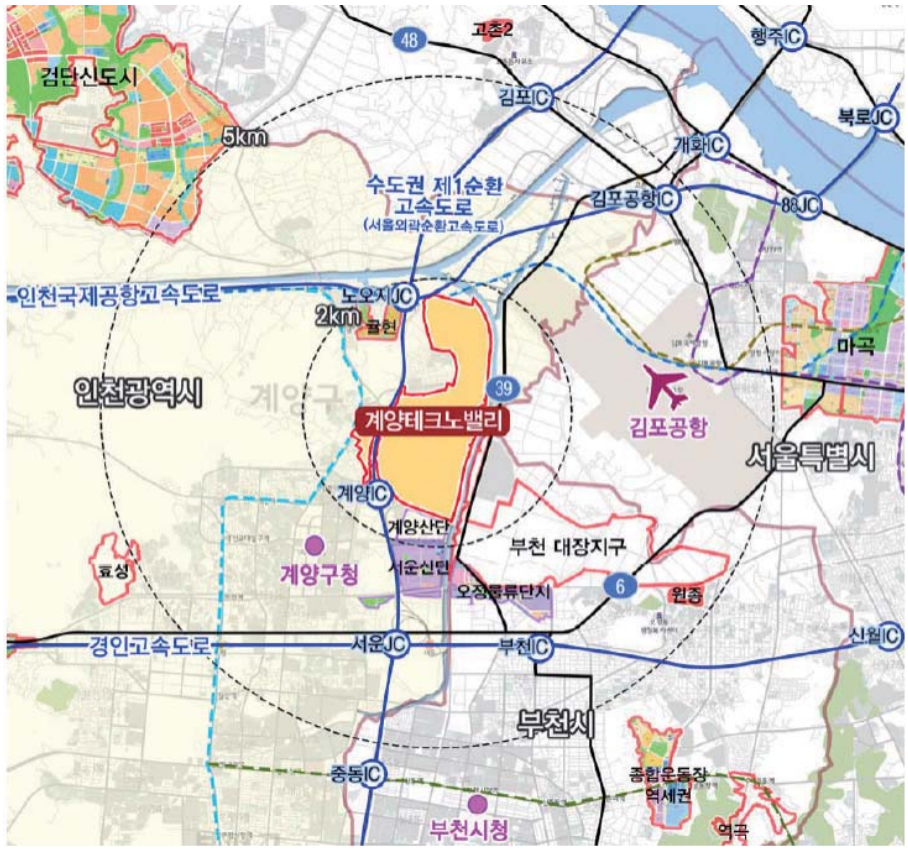
출처 : 한국토지주택공사(2021b)

4. 인천계양지구

4.1. 위치

○ 인천광역시 계양구의 귤현동, 동양동, 박촌동, 병방동, 상야동 일원에 위치

○ 서울시 및 부천시와 맞닿아 있으며 인천·서울·부천·김포를 배후지로 두는 수도권 서부의 중심지이며, 인천 도시철도1호선, 공항철도 및 수도권 제1순환고속도로, 인천국제공항고속도로가 인접하여 광역 교통여건이 우수함



[그림 4-10] 사업지 위치도 : 인천계양지구

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

4.2. 토지이용계획

○ 총 부지면적은 3,331,714㎡로 주택건설용지가 658,909㎡ (19.8%), 공원녹지 900,556㎡ (27%), 도시지원시설 684.657㎡ (20.5%) 등으로 구성

○ 타 지구에 비해 주택건설용지의 비율이 상대적으로 낮고, 도시지원시설용지의 면적이 넓음

○ 도로는 전체 면적 대비 16.2% 수준

[표 4-9] 토지이용계획 : 인천계양지구

구 분	면적(㎡)	구성비(%)
합 계	3,331,714	100
주택건설용지	658,909	19.8
상업시설용지	37,353	1.1
복합시설용지	241,861	7.2
도시지원시설	684,657	20.5
공원녹지	900,556	27.0
기타	186,049	5.7
도로	539,270	16.2
유보지	83,059	2.5

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

4.3. 인구 및 주택계획

○ 인천 계양지구는 계획인구 38,996인으로 수립

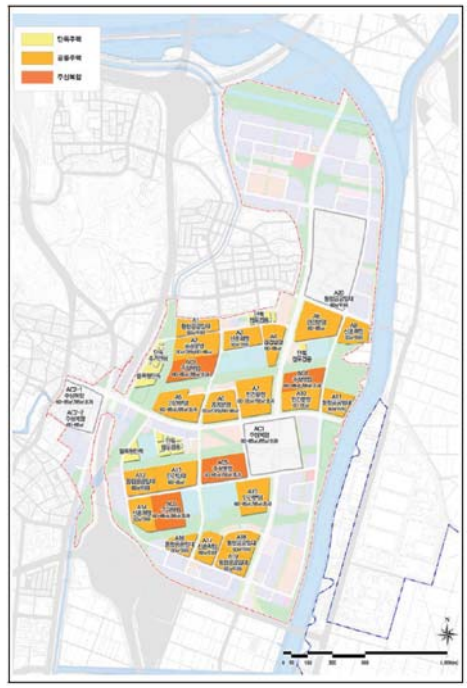
○ 총 주택계획호수는 17,289호로 단독주택 162호, 공동주택 13,182호, 주상복합 3,945호를 계획하고 있으며, 이중 신혼희망 주택 2,073호 계획 있음

[표 4-10] 인천계양지구 인구 및 주택건설 계획

구 분	면적(㎡)	계획호수(호)	수용인구(인)
계	843,110	17,289	38,996
단독주택(R)	50,744	162	396
공동주택(A)	584,608	13,182	28,975
주상복합(AC)	207,758	3,945	9,625

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

토지이용계획도



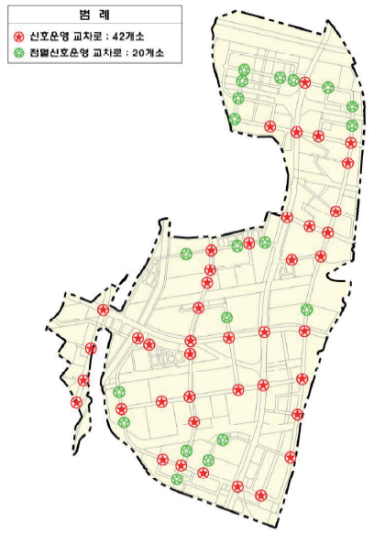
주택건설계획도

[그림 4-11] 토지이용 및 주택건설계획도 : 인천계양지구

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

4.4. 도로계획

- ○ 외부도로와 연결되는 동서축과 남북축 도로는 대로1류~중로1류로 구성함
  - 왕복 2차로~8차로의 보조간선도로급으로 구성
- ○ 그 외 사업지 내 도로는 중로급이하 도로로 계획
  - 집산도로 이하는 왕복 2차~4차로를 구성함
- ○ 내부도로는 기존 도로 체계를 유지하고, 도로 위계에 맞도록 단면을 구성함
- ○ 도로폭은 최소 10m에서 최대 41.25m로 구성함
- ○ 폭25m 이상 도로와 초등학교 주변 교차로는 신호교차로로 운영하고, 보행자 및 상충교통류간에는 점멸 교차로로 계획
- ○ 신호교차로 42개소, 비신호교차로(점멸) 20개소 설치



[그림 4-12] 교차로 운영계획 : 인천계양지구

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

4.5. 대중교통계획

□ S-BRT

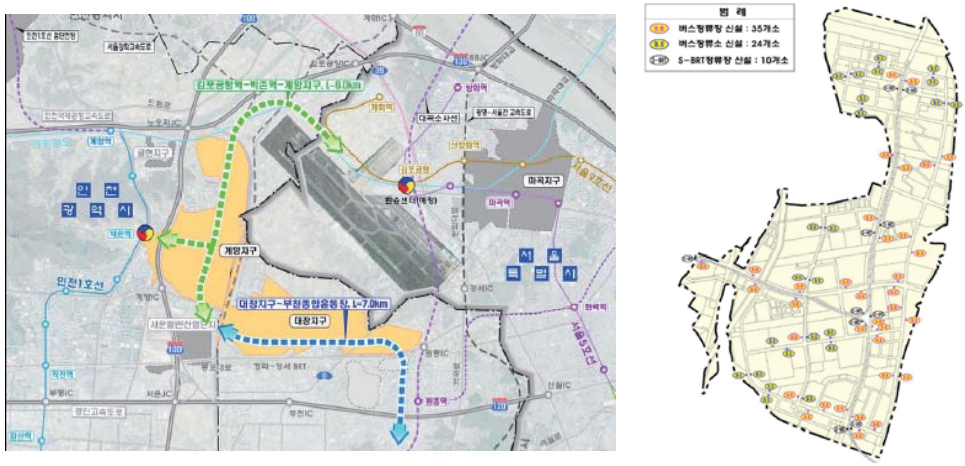
○ 인천 계양지구의 S-BRT는 김포공항-박촌역-계양지구(사업지)를 연결하는 9km의 노선과 전용정류장 10개소 설치 계획

- 부천 대장지구 S-BRT와 연결됨
- 부천원도심과의 연결외에도 GTX-B 노선, 대곡소사선 등과의 연계로 서울 도심으로의 이동시간 단축이 가능

○ 사업지 주변으로 인천도시철도 1호선 박촌역 및 인천국제공항철도 계양역이 위치하여 주요 전철역과의 접근성이 양호함

□ 일반 노선버스 정류장

○ 사업지 내부 순환버스 노선 신설하고, 버스정류시설은 보행권을 감안하여 설치하며, 버스베이형은 35개소, 버스정류소형은 24개소 설치



S-BRT 노선 설치계획　　버스정류장 설치계획

[그림 4-13] S-BRT 노선 및 버스정류장 계획 : 인천계양지구

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

4.6. 통행수요예측

- ○ 1일 총통행량은 2027년 기준 483,248 통행, 2031년 기준 484,054 통행
  - 승용차의 경우 2027년 기준 유입과 유출 각 78.494 통행, 2031년 기준 유입과 유출 각 78,601 통행 발생
- ○ 첨두시의 경우 2027년 기준 47,723 통행, 2031년 기준 47,288 통행
  - 승용차의 경우 유입 10,853 통행, 유출 5,466 통행, 2031년 유입 10.762 통행, 유출 5.421 통행 발생
- ○ 내부 통행량이 외부 통행량보다 34% 더 많음
- ○ 수단별 총통행량은 승용차, 도보 및 기타, 버스, 지하철, 택시 순임
  - 승용차 통행이 전체 통행량의 32% 수준이며, 도보 및 기타 역시 비슷함

[표 4-11] 인천계양지구 수단 통행량 예측

단위 : 통행

구분			승용차		택시		버스		지하철		도보 및 기타		합계		
			유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	계
내부 통행 (1)	첨두시	2027년	6,275	2,247	1,040	349	3,663	1,757	0	0	7,360	3,596	18,338	7,949	26,287
		2031년	6,219	2,230	1,027	346	3,635	1,734	0	0	7,308	3,554	18,189	7,864	26,053
	1일 통행량	2027년	43,163	43,163	7,837	7,837	29,331	29,331	0	0	64,862	64,862	145,193	145,193	290,386
		2031년	43,255	43,255	7,863	7,863	29,398	29,398	0	0	65,072	65,072	145,588	145,588	291,176
외부 통행 (2)	첨두시	2027년	4,583	3,219	514	272	3,161	2,093	2,093	3,178	1,945	1,674	13,110	8,326	21,436
		2031년	4,543	3,191	508	268	3,132	2,069	3,151	1,925	1,659	789	12,993	8,242	21,235
	1일 통행량	2027년	35,331	35,331	3,800	3,800	22,696	22,696	21,951	21,951	12,653	´2,653	96,431	96,431	192,862
		2031년	35,346	35,346	3,803	3,803	22,681	22,681	21,939	21,939	12,670	´2,670	96,439	96,439	192,878
총 통행량 (1+2)	첨두시	2027년	10,858	5,466	1,554	621	6,824	3,850	2,093	3,178	9,305	5,270	31,448	16,275	47,723
		2031년	10,762	5,421	1,535	614	6,767	3,803	3,151	1,925	8,967	4,343	31,182	16,106	47,288
	1일 통행량	2027년	78,494	78,494	11,637	11,637	52,027	52,027	21,951	21,951	77,515	77,515	241,624	241,624	483,248
		2031년	78,601	78,601	11,666	11,666	52,079	52,079	21,939	21,939	77,742	77,742	242,027	242,027	484,054

* 첨두시 : 08:00 ~ 09:00

출처 : 한국토지주택공사(2021c)

5. 하남교산

5.1. 위치

○ 경기도 하남시 천현동, 항동, 하사창동, 교산동, 상사창동, 춘궁동, 덕풍동, 창우동 일원에 입지

○ 북측으로 지하철 5호선(하남시청역, 하남검단산역)이 운영 중이며 수도권 제1순환고속도로가 서측에 접해있으며 사업지 동측으로 중부고속도로가 접해있어 광역교통의 접근성이 매우 양호

[그림 4-14] 사업지 위치도 : 하남교산지구

출처 : 한국토지주택공사(2021d)

5.2. 토지이용계획

○ 총면적은 6,314,121㎡이며, 주택건설용지 1,470,882㎡, 공원녹지 2,207,572㎡ , 도시지원시설 755,376㎡로 계획

○ 전체면적 중 공원녹지의 비율이 35%로 가장 많고, 주택건설용지가 23.3%를 차지함. 타 지구에 비해 도시지원시설이 12%로 높음

○ 도로 면적은 1,025,432㎡로 전체 면적대비 16.2%로 계획

[표 4-12] 토지이용계획 : 하남교산지구

구 분		면적(㎡)	구성비(%)
합 계		6,314,121	100
주택건설용지		1,470,882	23.3
상업시설용지		14,083	0.2
복합시설용지		350,351	5.5
도시지원시설		755,376	12.0
공원녹지		2,207,572	35.0
기타		490,425	7.8
도로	일반도로	1,013,335	16.0
	보행자전용도로	12,097	0.2
	소계	1,025,432	16.2

출처 : 한국토지주택공사(2021d)

5.3. 인구 및 주택건설 계획

○ 주택 총 33,037호를 건설할 계획이며, 수용인구는 77,925인으로 계획

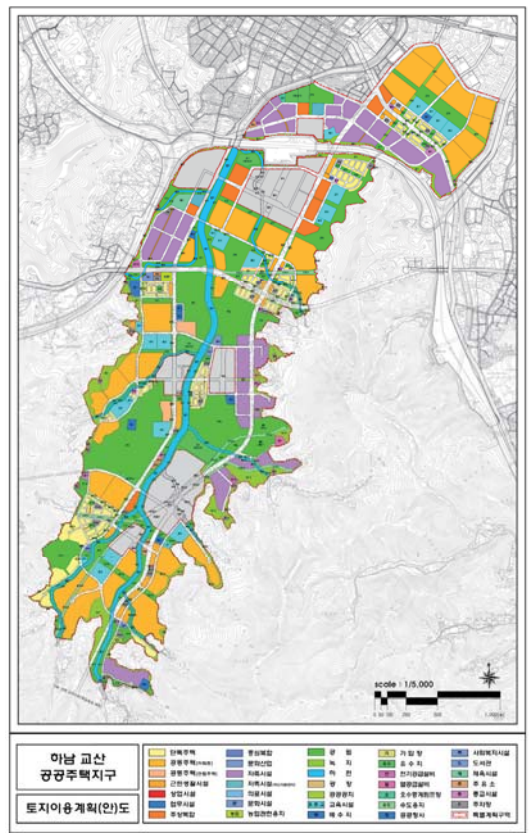
○ 단독주택은 805세대며, 공동주택(연립포함) 건설호수는 25,510세대이며, 복합시설은 6,722세대로 계획

○ 수용인구는 단독주택 2,012인, 공동주택(연립포함) 60,100인, 복합시설 15,813인으로 계획

[표 4-13] 하남교산지구 인구 및 주택건설 계획

구 분	면적(㎡)	계획호수(호)	수용인구(인)
계	1,652,321	33,037	77,925
단독주택(R)	227,217	805	2,012
연립주택(D)	28,152	236	591
공동주택(A, B, C, S)	1140790	25,274	59,509
주상복합	139,335	3,467	8,667
공공복합	30,290	1,102	1,763
중심복합	86,537	2,153	5,383

출처 : 한국토지주택공사(2021d)



[그림 4-15] 토지이용계획 : 하남교산지구

출처 : 한국토지주택공사(2021d)

5.4. 도로계획

○ 격자형 가로체계를 구축하여 토지이용의 효율성을 높임

○ 사업지구내 가로망을 기능별로 분류하고, 발생교통량과 주변 교통여건을 고려하여 적정 폭원을 계획

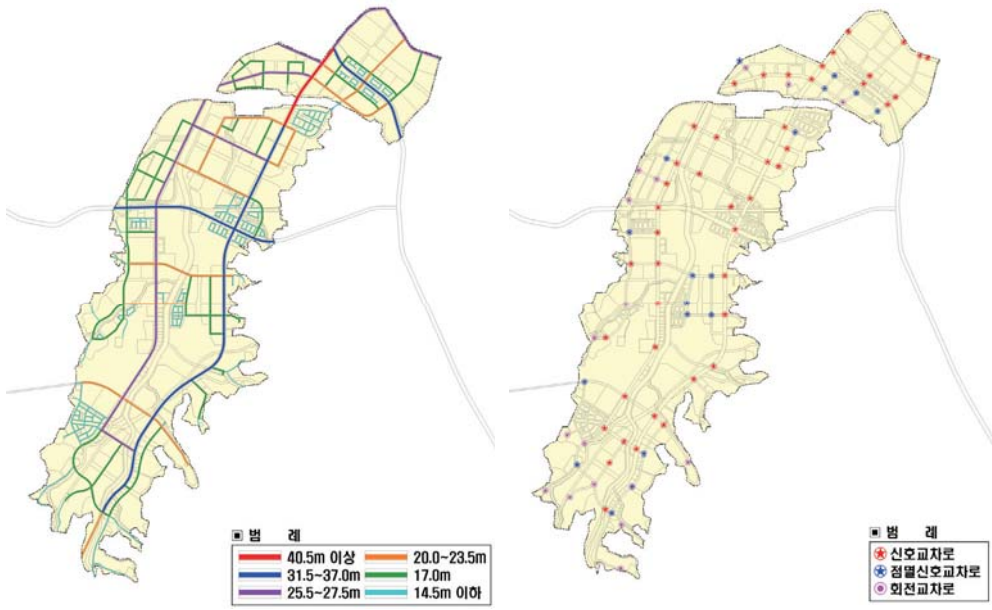
- 간선도로는 31.5m 이상의 폭으로 설계하여 남북방향과 동서방향을 축으로 함
- 보조간선은 20m~27.5m의 폭으로 설계하여, 간선도로와 연결하고, 서측의 남북방향 축을 형성함
- 집산도로는 14.5m~17m 이하의 폭으로 설계함

○ 주간선도로는 왕복 6차~10차로 구성, 보조간선도로는 왕복 3차~6차로, 집산도로는 왕복 2차로, 국지도로는 편도 1차로~왕복2차로로 구성함

○ 도로폭은 최소 10m에서 최대 43.5m로 구성함

○ 사업지 동측에 계획된 객산터널~국도43호선 연결도로(왕복4차로 신설)와 사업지내 주간선도로인 남북도로와의 접속지점은 추후 서울~양평고속도로, 서하남로 확장, 객산터널~국도43호선 연결도로 개통과 함께 교통량이 증가할 것으로 예상됨에 따라 입체교차로로 계획.

○ 사업지내 교차로는 신호교차로 45개소, 비신호(점멸)교차로 18개소, 회전교차로 16개소로 계획



도로망 체계도 교차로 운영계획

[그림 4-16] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 하남교산지구

출처 : 한국토지주택공사(2021d)

5.5. 대중교통계획

□ 도시철도 및 BRT

- ○ 광역교통개선대책으로 송파~하남을 연결하는 연장 12km의 도시철도 계획
- ○ 사업지 북측에 기 설치된 천호~하남간 BRT 노선과 연계하여 교산지구 환승시설까지 BRT 설치계획
- ○ 서울과 연결되는 동남로 연결도로 상에 버스전용차로(편도) 설치 및 서하남로~사업지 내부까지 버스전용차로를 계획
- ○ 지구내 가로변 버스전용차로 설치구간
  - 천현사거리 ~ 교산지구 환승시설
  - 교산지구 환승시설 ~ 사업지 남측(남북축)
  - 서하남로 확장구간 ~ 남북측 가로변버스전용차로(동서축)

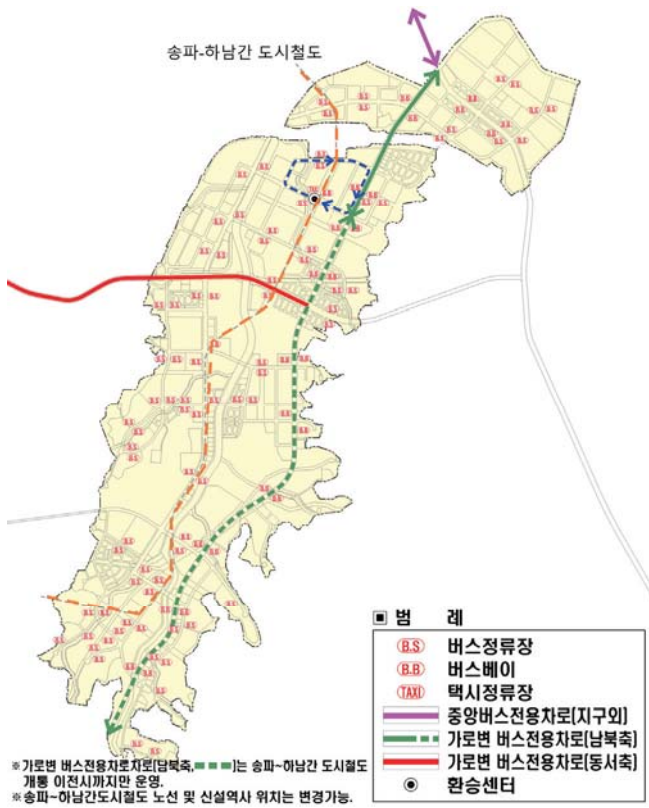
□ 일반 노선버스 정류장

○ 주요 가로 및 교차로 상에 버스정류장을 신설 설치

- 버스베이(B.B) : 26개소
- 버스정류장(B.S) : 82개소

○ BRT와 송파~하남간 도시철도 이용객의 환승 편의를 도모하기 위하여 환승시설 1개소 설치

- 환승시설 설치 : 1개소
- 택시 정류장 : 1개소



[그림 4-17] 도시철도 및 버스전용차로 노선 계획 : 하남교산지구

출처 : 한국토지주택공사(2021d)

5.6. 통행수요예측

○ 1일 총통행량은 2029년 기준 1,011,936 통행, 2033년 기준 1,001,636 통행

- 승용차의 경우 2029년 기준 유입과 유출 각 182,275 통행, 2033년 기준 유입과 유출 각 182,003 통행 발생

○ 첨두시의 경우 2029년 기준 96,607 통행, 2033년 기준 95,737 통행

- 승용차의 경우 유입 14,496 통행, 유출 20,289 통행, 2033년 유입 14,438 통행, 유출 20,319 통행 발생

○ 내부 통행량이 외부통행보다는 36% 정도 더 많음

○ 수단별 총통행량은 승용차, 버스, 도보 및 기타, 지하철, 택시 순이었으며, 승용차 통행이 전체 통행량의 36% 수준임

[표 4-14] 하남교산자구 수단 통행량 예측 : 하남 교산

단위 : 통행

구분			승용차		택시		버스		지하철		도보 및 기타		합계		
			유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	계
내부 통행 (1)	첨두시	2029년	7,583	12,236	241	323	5,865	9,330	1,269	2,074	7,754	10,046	22,712	34,009	56,721
		2033년	7,594	12,302	243	325	5,904	9,457	1,259	2,068	7,367	9,644	22,367	33,796	56,163
	1일 통행량	2029년	108,963	108,963	3,189	3,189	80,464	80,464	18,305	18,305	96,668	96,668	307,589	307,589	615,178
		2033년	109,285	109,285	3,204	3,204	81,273	81,273	18,188	18,188	92,270	92,270	304,220	304,220	608,440
외부 통행 (2)	첨두시	2029년	6,910	8,053	191	239	2,915	3,523	6,355	7,725	1,727	2,248	18,098	21,788	39,886
		2033년	6,844	8,017	187	239	2,880	3,508	6,337	7,749	1,650	2,163	17,898	21,676	39,574
	1일 통행량	2029년	73,312	73,312	2,162	2,162	31,889	31,889	70,466	70,466	20,550	20,550	198,379	198,379	396,758
		2033년	72,718	72,718	2,142	2,142	31,595	31,595	70,408	70,408	19,735	19,735	196,598	196,598	393,196
총 통행량 (1+2)	첨두시	2029년	14,493	20,289	432	562	8,780	12,853	7,624	9,799	9,481	12,294	40,810	55,797	96,607
		2033년	14,438	20,319	430	564	8,784	12,965	7,596	9,817	9,017	11,807	40,265	55,472	95,737
	1일 통행량	2029년	182,275	182,275	5,351	5,351	112,353	112,353	88,771	88,771	117,218	117,218	505,968	505,968	1,011,936
		2033년	182,003	182,003	5,346	5,346	112,868	112,868	88,596	88,596	112,005	112,005	500,818	500,818	1,001,636

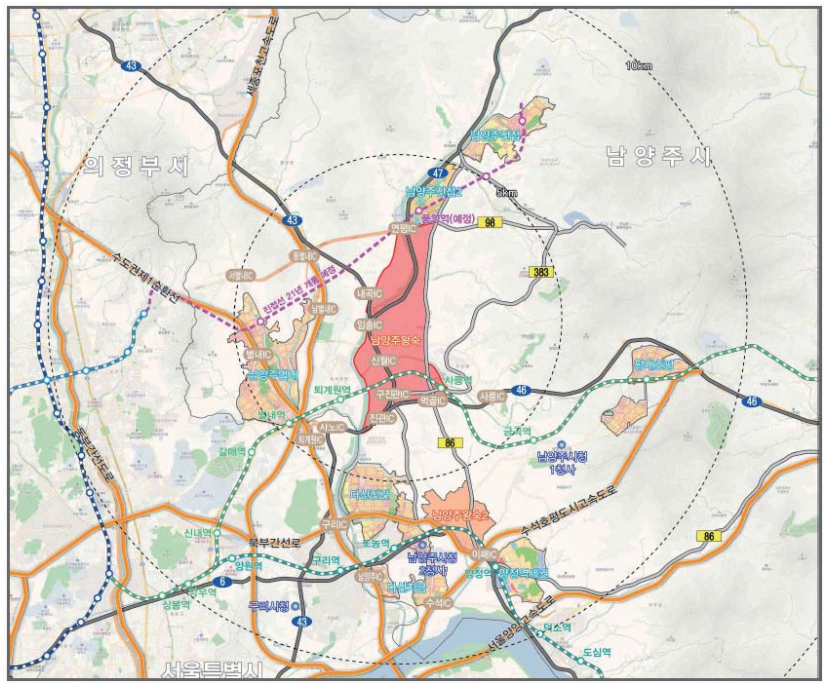
* 첨두시 : 18:00 ~ 19:00

출처 : 한국토지주택공사(2021d)

6. 남양주왕숙1

6.1. 위치

- 경기도 남양주시 진접읍, 진건읍 일원에 입지하고 있으며, 서남측으로 구리시, 서울시, 하남시, 북측으로 포천시, 의정부시가 위치함
- 주변으로 수도권 제1순환도로, 구리~포천고속도로, 국도47호선, 국지도 98·86호선, 지방도 383호선 등이 통과하여 교통이 편리함
- 수도권 전철 경춘선이 사업지구를 통과함
- 서북측으로 "남양주 진접 2공공주택지구"의 개발지구가 조성 중



[그림 4-18] 사업지 위치도 : 남양주왕숙1지구

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

6.2. 토지이용계획

○ 총 계획면적은 8,654,278㎡이며, 주택건설용지가 2,136,584㎡로 전체 면적대비 24.6%, 공원녹지가 3,001,045㎡(34.7%), 도시지원시설이 1,025,933㎡(11.9%)의 비율을 이룸

○ 도로 면적은 전체의 15.2% 수준

[표 4-15] 토지이용계획 : 남양주왕숙1지구

구 분		면적(㎡)	구성비(%)
합 계		8,654,278	100.0
주택건설용지		2,136,584	24.6
상업시설용지		126,640	1.5
복합시설용지		295,448	3.4
도시지원시설		1,025,933	11.9
공원녹지		3,001,045	34.7
기타		754,955	8.7
도로	일반도로	1,287,089	14.9
	보행자전용도로	26,584	0.3
	소계	1,313,673	15.2

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

6.3. 인구 및 주택건설 계획

○ 총 세대수는 62,255세대로 단독주택 647세대, 연립주택 124세대, 공동주택 52,763세대로 계획

- 그 외 복합용지에 주택 8,721세대가 계획

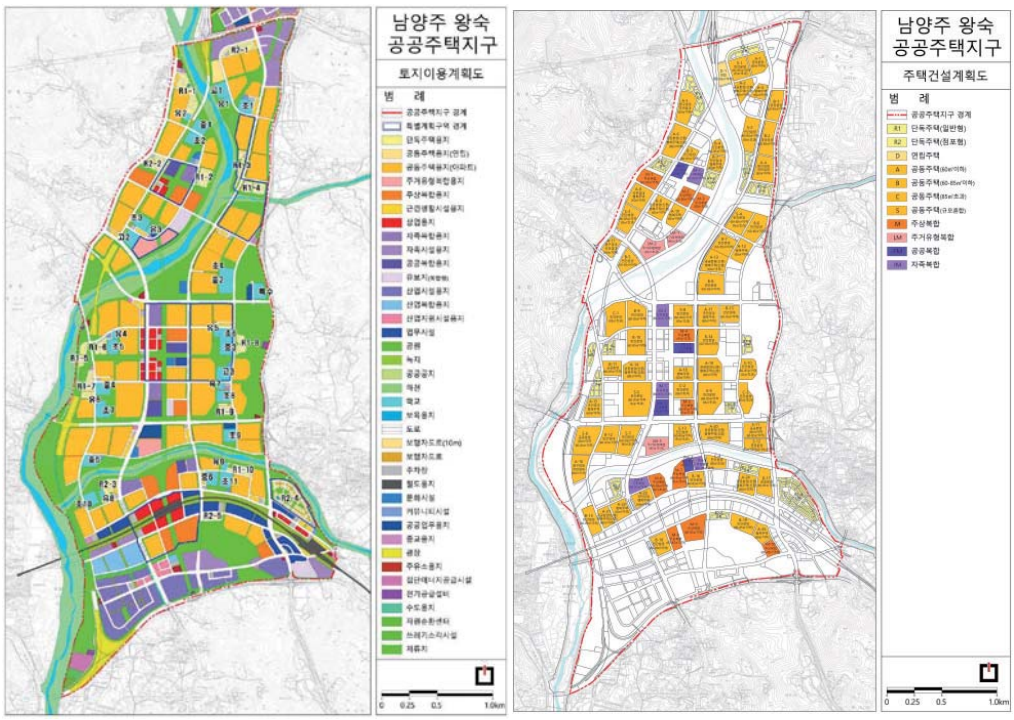
○ 총 인구수는 145,586인으로 단독주택 1,622인, 연립주택 310인, 공동주택 123,403인으로 계획

- 그 외 복합용지에 20,251인 계획

[표 4-16] 남양주왕숙1지구 인구 및 주택건설 계획

구 분	면적(㎡)	계획호수(호)	수용인구(인)
계	2,911,934	62,255	145,586
단독주택	181,480	647	1,622
연립주택(D)	18,603	124	310
공동주택(A, B, C, S)	2,321,579	52,763	123,403
주상복합(M)	224,784	5,507	13,769
공공복합(PM)	9,245	1,727	2,762
자족복합(IM)	85,579	978	2,446
주거유형복합(LM)	70,664	509	1,274

출처 : 한국토지주택공사(2021e)



토지이용계획도 주택건설계획도

[그림 4-19] 토지이용 및 주택건설계획도 : 남양주왕숙1지구

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

6.4. 도로계획

○ 지구내 도로망을 기능별로 분류하고, 격자형 체계로 구축하여 토지이용의 효율성을 높임

○ 외부도로와 연결되는 동서축과 남북축 도로는 왕복 4차~8차로, 폭원 28m 수준으로 설계

○ 그 외 지구내부도로는 왕복 2차로~4차로, 폭원 8~24m 수준으로 설계

○ 도로폭은 최소 8m에서 최대 38m로 구성됨

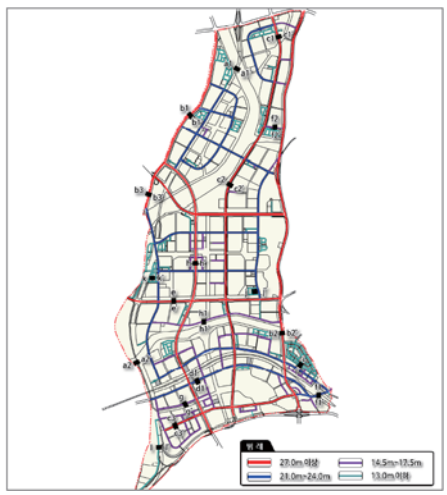
[표 4-17] 남양주왕숙1지구 도로계획

구 분	내용
간선도로	• 주간선도로는 3X3 격자로 구성
보조간선도로	• 주간선도로 사이를 보조간선도로로 연결
집산도로	• 주간선과 보조간선의 사이를 집산도로로 연결하여 접근성을 향상

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

○ 사업지내 신호교차로 56개소, 비신호교차로(점멸) 53개소 설치

◆ 타 지구에 비해 점멸 신호교차로의 비중이 높음



도로망 체계도

교차로 운영계획

[그림 4-20] 도로망 체계 및 교차로 운영계획 : 남양주왕숙1지구

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

6.5. 대중교통계획

□ 광역교통

○ 광역교통개선대책의 핵심사업은 남양주에서 서울을 연결하는 서울 강동~하남~남양주 간 도시철도로 2028년 개통을 목표로 사업을 추진

○ 입주민의 철도이용 편의를 위해 GTX-B 노선이 정차하는 경춘선 왕숙역을 신설할 계획이며, 환승시설 역시 설치계획

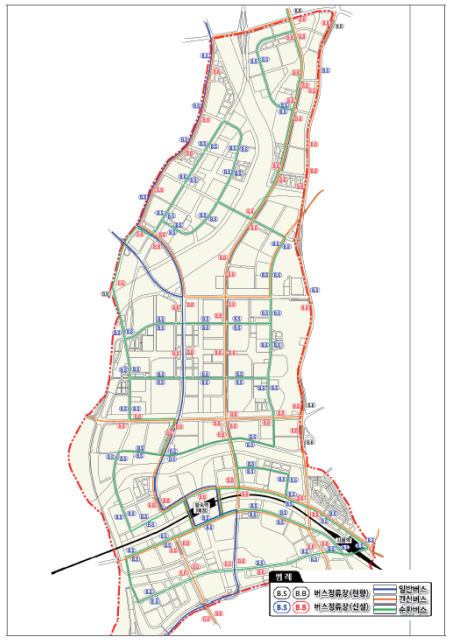
- Bus & Ride와 Taxi & Ride
- 환승주차장 2개소

□ 일반 노선버스 정류장

○ 지구내 간선도로를 중심으로 버스 노선을 배치하고, 순환버스를 활용해 주거지와 간선버스를 연결

○ 주요 가로와 교차로를 중심으로 버스정류시설 156개 신설

- 버스베이형 65개소
- 버스정류장형 91개소



[그림 4-21] 버스 노선체계와 정류장 계획 : 남양주왕숙1지구

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

6.6. 통행수요예측

- ○ 1일 총통행량은 2029년 기준 1,058,186 통행, 2033년 기준 1,034,588 통행
  - 승용차의 경우 2029년 기준 유입과 유출 각 186,380 통행, 2033년 기준 유입과 유출 각 182,631 통행 발생
- ○ 첨두시의 경우 2029년 기준 104,214 통행, 2033년 기준 102,197 통행
  - 승용차의 경우 2029년 기준 유입 15,231 통행, 유출 22,603 통행, 2033년에는 유입 14,722 통행, 유출 22,286 통행이 발생
- ○ 내부 통행량이 외부 통행량보다 21% 더 많음
- ○ 수단별 총통행량은 승용차, 도보 및 기타, 버스, 지하철, 택시 순이었으며, 승용차 통행이 전체 통행량의 35% 수준이었음

[표 4-18] 남양주왕숙1지구 수단 통행량 예측

단위 : 통행

구분			승용차		택시		버스		지하철		도보 및 기타		합계		
			유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	계
내부 통행 (1)	첨두시	2029년	6,810	12,472	1,055	1,455	3,555	5,688	146	245	11,093	14,227	22,659	34,087	56,746
		2033년	6,732	12,505	1,043	1,459	3,463	5,653	142	245	10,535	13,818	21,915	33,680	55,595
	1일 통행량	2029년	99,976	99,976	14,220	14,220	46,241	46,241	1,844	1,844	132,886	132,886	295,167	295,167	590,334
		2033년	99,393	99,393	14,152	14,152	45,453	45,453	1,824	1,824	127,461	127,461	288,283	288,283	576,570
외부 통행 (2)	첨두시	2029년	8,421	10,131	1,212	1,313	5,417	5,850	5,869	6,736	1,225	1,294	22,144	25,324	47,468
		2033년	7,990	9,781	1,178	1,284	5,266	5,770	5,893	6,882	1,240	1,318	21,567	25,035	46,602
	1일 통행량	2029년	86,404	86,404	15,144	15,144	58,712	58,712	59,237	59,237	14,429	14,429	233,926	233,926	467,852
		2033년	82,238	82,238	14,764	14,764	57,442	57,442	59,914	59,914	14,651	14,651	229,009	229,009	458,018
총 통행량 (1+2)	첨두시	2029년	15,231	22,603	2,267	2,768	8,972	11,538	6,015	6,981	12,318	15,521	44,803	59,411	104,214
		2033년	14,722	22,286	2,221	2,743	8,729	11,423	6,035	7,127	11,775	15,136	43,482	58,715	102,197
	1일 통행량	2029년	186,380	186,380	29,364	29,364	104,953	104,953	61,081	61,081	147,315	147,315	529,093	529,093	1,058,186
		2033년	181,631	181,631	28,916	28,916	102,895	102,895	61,738	61,738	142,112	142,112	517,292	517,292	1,034,588

* 첨두시 : 18:00 ~ 19:00

출처 : 한국토지주택공사(2021e)

7. 남양주왕숙2

7.1. 위치

○ 경기도 남양주시 일패동, 이패동 일원에 입지

○ 서남측으로 서울시와 구리시, 하남시, 북측으로 포천시와 의정부시가 위치

○ 사업지구와 인접하여 북측으로 “남양주왕숙 공공주택지구”, 남측으로 “남양주양정역세권도시개발사업”등 대규모 개발지구가 조성

○ 수도권 제1순환도로, 구리~포천고속도로, 국도47호선, 국지도98 · 86호선, 지방도383호선 등 간선도로가 통과

○ 수도권 전철 경춘선이 사업지구를 통과

[그림 4-22] 사업지 위치도 : 남양주왕숙2지구

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

7.2. 토지이용계획

○ 총 부지면적은 2,393,384.5㎡이고 주택건설용지 622,200㎡(26.0%), 공원녹지 798.762㎡(33.4%)로 계획함

○ 전체면적 중 공원녹지의 비율이 33.4%로 가장 많고, 주택건설용지가 26%로 타 지구에 비해 약간 높음

○ 도로면적의 경우 일반도로와 보행자전용도로를 합쳐 17.1% 수준

[표 4-19] 토지이용계획 : 남양주왕숙2지구

구 분		면적(㎡)	구성비(%)
합 계		2,393,384.5	100
주택건설용지		622,200	26.0
상업시설용지		27,370	1.1
복합시설용지		142,862	6.0
도시지원시설		195,721	8.2
공원녹지		798,762	33.4
기타		197,073	8.2
도로	일반도로	408,307.5	17.1
	보행자전용도로	1,089	0.0
	소계	409,396.5	17.1

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

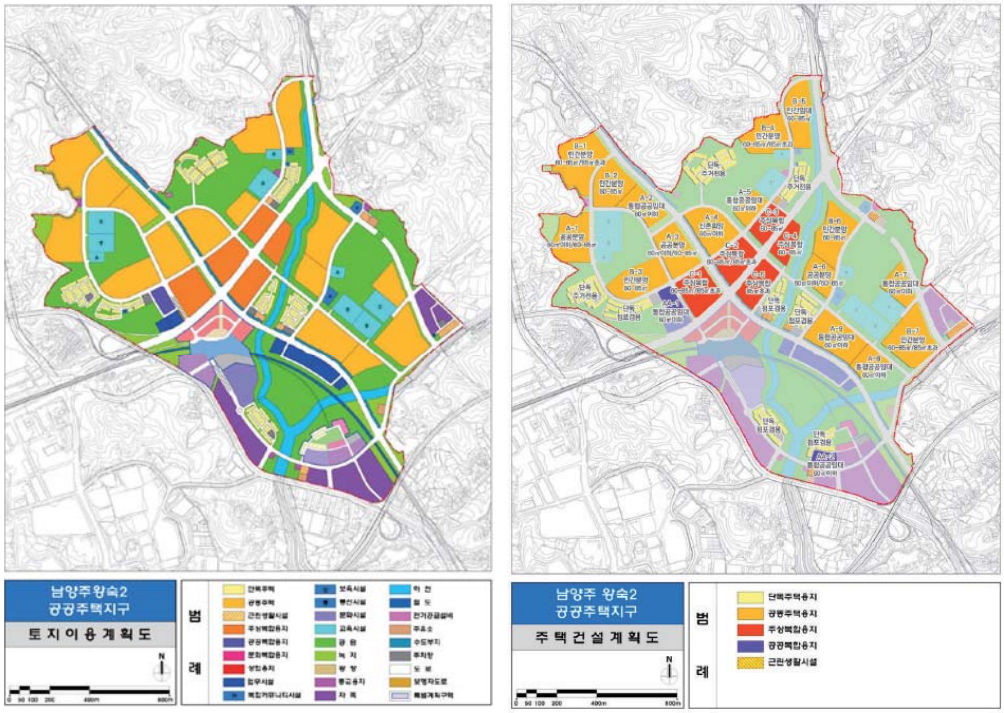
7.3. 인구 및 주택건설 계획

○ 인구계획은 총 세대수 14,410세대, 수용인구 33,426인이며, 공공임대가 35%, 공공분양이 17%로 공공분양이 총 52.5%로 과반임

[표 4-20] 남양주왕숙2지구 인구 및 주택건설 계획

구 분	계획호수(호)	수용인구(인)
계	14,410	33,426
단독주택	311	778
공동주택(A, B, AA)	11,815	26,935
주상복합(C)	2,284	5,713

출처 : 한국토지주택공사(2021f)



토지이용계획도　　주택건설계획도

[그림 4-23] 토지이용 및 주택건설계획도 : 남양주왕숙2지구

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

7.4. 도로계획

- ○ 내부 가로망은 경춘로와 일패로를 중심으로 접근 및 분산이 쉽도록 최대한 격자형 도로망으로 계획
- ○ 간선도로는 왕복 5차로~7차로, 집산도로는 왕복 2차로~4차로, 국지도로는 왕복 2차로로 구성됨
- ○ 도로폭은 최소 8m에서 최대 36m로 구성됨
- ○ 사업지내 신호교차로 34개소와 3개의 회전교차로를 설치함([그림 4-25] 참조)

[표 4-21] 남양주왕숙2지구 도로계획

구 분	내용
간선도로 보조간선도로	• 지구내 남북으로 횡단하는 주변 개발지역 연결도로 • 남양주왕숙지구~남양주 양정역세권지구 연계도로 (국도6호선의 보조 간선기능)
집산도로	• 지구내 생활지역을 연결하는 순환형
국지도로 (폭 11.5~14m)	• 주거시설(공동주택, 단독주택) 블럭 진입 • 속도 저감을 위해 왕복 2차로 계획
국지도로 (폭 8~10m)	• 단독주택 블럭 내 진입 및 접근도로 형성 • 보행자의 가장자리 보행권 확보를 위한 가장자리 구역 확보 • 분리된 보도가 없는 만큼 보행자우선도로 지정 필요

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

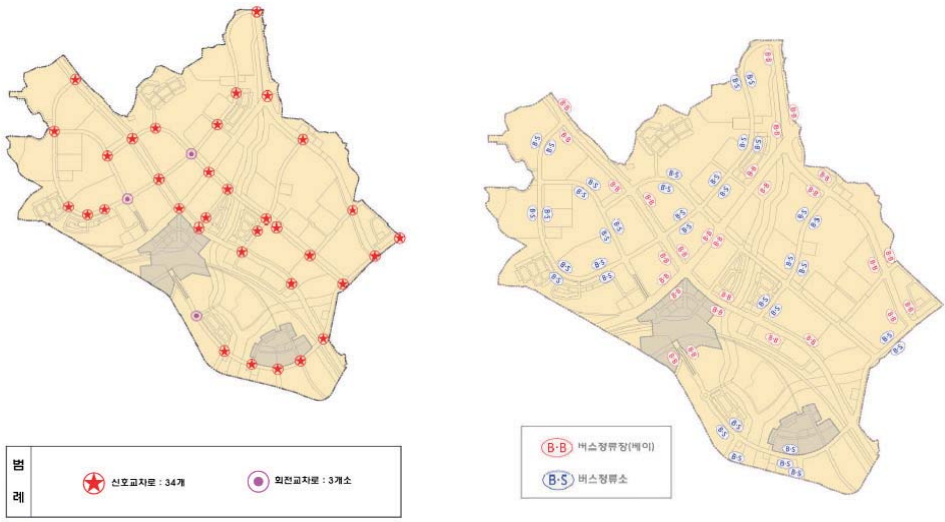
[그림 4-24] 도로망 체계도 : 남양주왕숙2지구

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

7.5. 대중교통계획

○ 사업지 주요 경유 지점에는 버스정류장을 설치하여 대중교통 이용 편의를 제공

- 간선도로변에 버스 1대분의 버스베이형 버스정류장을 총 27개소 설치
- 집산도로에는 버스정류장 36개소 설치



교차로 운영계획 버스정류장 계획

[그림 4-25] 교차로 및 버스정류장 운영계획 : 남양주왕숙2지구

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

7.6. 통행수요예측

- ○ 1일 총통행량은 2029년 기준 267,622 통행, 2033년 기준 261,922 통행
  - 승용차의 경우 2029년 기준 유입과 유출 각 46,509 통행, 2033년 기준 유입과 유출 각 45,827 통행 발생
- ○ 첨두시의 경우 2029년 기준 25,135 통행, 2033년 기준 24,658 통행
  - 승용차의 경우 2029년 기준 유입 3,833 통행, 유출 5,013 통행, 2033년 유입 3,745 통행, 유출 4,990 통행 발생
- ○ 내부 통행량이 외부통행보다 22% 정도 더 많음
- ○ 수단별 총통행량은 승용차, 버스, 도보 및 기타, 지하철, 택시 순이었으며, 승용차 통행이 전체 통행량의 35% 수준이었음
- ○ 또한, 승용차 통행량과 버스 통행량이 1일 5,000대 정도로 차이가 크지 않음
- ○ 다른 지역의 3기 신도시와 수단별 교통량 평균을 비교했을 때 가장 적음

[표 4-22] 남양주왕숙2지구 수단 통행량 예측

단위 : 통행

구분			승용차		택시		버스		지하철		도보 및 기타		합계		
			유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	유 입	유 출	계
내부 통행 (1)	첨두시	2029년	1,798	2,858	466	820	2,252	3,252	0	0	970	1,274	5,486	8,204	13,690
		2033년	1,760	2,848	458	817	2,185	3,218	0	0	926	1,230	5,329	8,113	13,442
	1일 통행량	2029년	25,404	25,404	7,022	7,022	30,077	30,077	0	0	12,474	12,474	74,977	74,977	149,954
		2033년	25,083	25,083	6,959	6,959	29,441	29,441	0	0	11,934	11,934	73,417	73,417	146,834
외부 통행 (2)	첨두시	2029년	2,035	2,155	249	324	1,043	1,183	1,546	1,735	512	663	5,385	6,060	11,445
		2033년	1,985	2,142	236	319	1,006	1,162	1,515	1,733	482	636	5,224	5,992	11,216
	1일 통행량	2029년	21,105	21,105	2,975	2,975	11,557	11,557	16,901	16,901	6,296	6,296	58,834	58,834	117,668
		2033년	20,744	20,744	2,895	2,895	11,221	11,221	16,708	16,708	5,976	5,976	57,544	57,544	115,088
총 통행량 (1+2)	첨두시	2029년	3,833	5,013	715	1,144	3,295	4,435	1,546	1,735	1,482	1,937	10,871	14,264	25,135
		2033년	3,745	4,990	694	1,136	3,191	4,380	1,515	1,733	1,408	1,866	10,553	14,105	24,658
	1일 통행량	2029년	46,509	46,509	9,997	9,997	41,634	41,634	16,901	16,901	18,770	18,770	133,811	133,811	267,622
		2033년	45,827	45,827	9,854	9,854	40,662	40,662	16,708	16,708	17,910	17,910	130,961	130,961	261,922

* 각주 : 18:00 ~ 19:00

출처 : 한국토지주택공사(2021f)

8. 모델링 대상지 선정

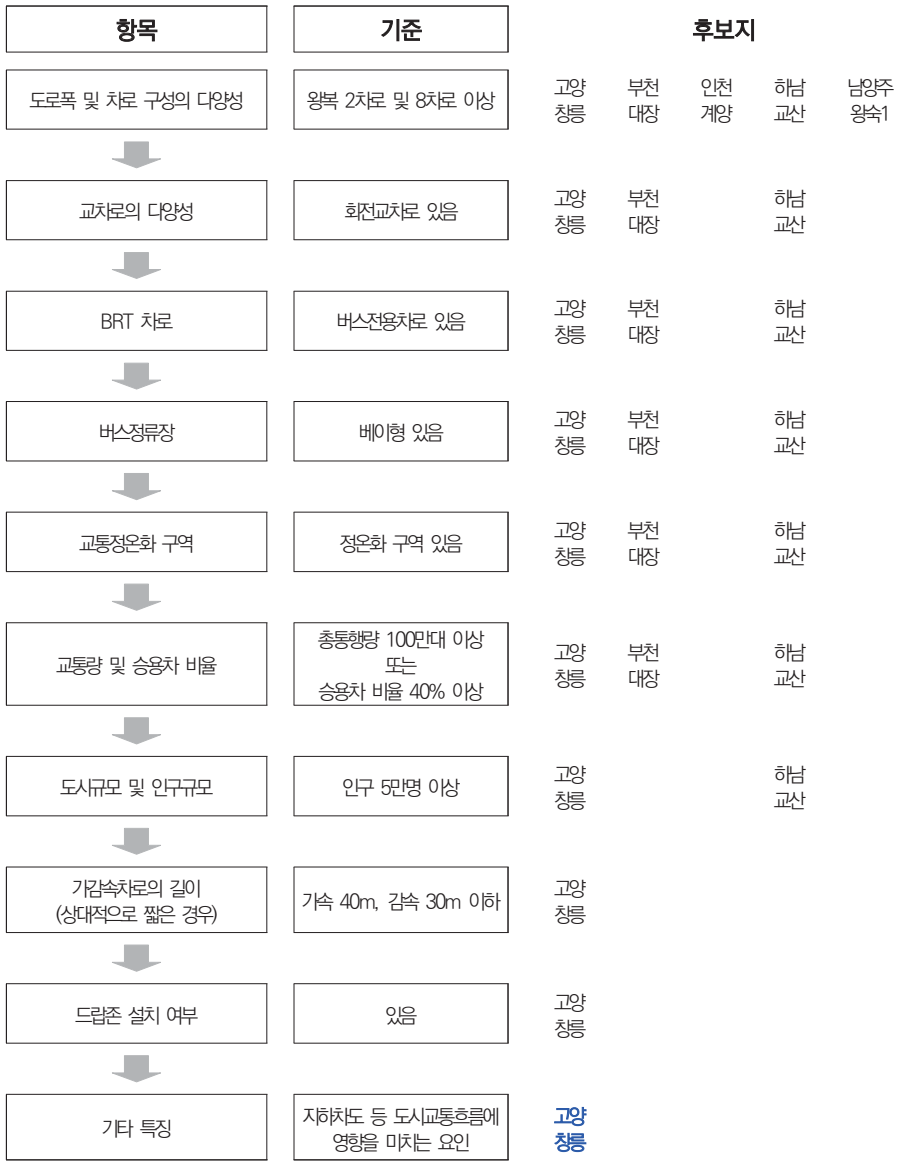
○ 본 연구는 1단계의 차량흐름 모델링과 2단계의 도시 공간 및 교통시설물에 효과에 대한 모델링을 수행할 계획임

○ 따라서 모델링 대상지는 1단계와 2단계의 목적을 모두 충족할 수 있는 지구를 선정해야 함

- 1단계 요구사항 : 다양한 도로폭, 차로 구성, BRT 등 전용차로의 영향 확인, 가감속차로의 길이 영향 확인, 지하차도 등 교통흐름에 영향을 미치는 요인, 일정 규모 이상의 교통량
- 2단계 요구사항 : 버스정류장, 드랍존(Flex zone) 등의 설치 효과 확인

○ 각 지구의 특징을 정리한 자료를 바탕으로 후보지를 [그림 4-25]의 절차를 통해 도출함

- [표 4-23]은 3기 신도시 6개 지구의 특징을 요약 정리함



[그림 4-26] 모델링 후보지 선정 절차

[표 4-23] 3기 신도시 6개 지구 비교

구분		고양 창릉	부천 대장	인천 계양	하남 교산	남양주 왕숙1	남양주 왕숙2
면적(㎡)		7,890,019	3,419,544	3,331,714	6,314,121	8,654,278	2,393,385
세대수(호)		38,398	25,921	17,289	33,037	62,255	14,410
인구(인)		84,564	55,820	38,996	77,925	145,586	33,426
주택용지면적(㎡)		1,819,327	729,482	658,909	1,470,882	2,136,584	622,200
주택용지 비율(%)		23.1	21.3	19.8	23.3	24.6	26.0
도로 면적(㎡)		1,192,086	613,869	539,270	1,025,432	1,313,673	409,397
도로 비율(%)		15.1	18.0	16.2	16.2	15.2	17.1
도로폭 범위(m)		8~58.5	8~48.75	10~41.25	10~43.5	8~38	8~36
차로구성(왕복기준)		2차로~12차로	2차로~9차로	2차로~8차로	편도1차로~왕복10차로	2차로~8차로	2차로~7차로
교차로(개소)	신호	53	36	42	45	56	34
	무신호(점멸)	7	13	20	18	53	-
	회전교차로	5	1(지하)	-	16	-	3
BRT	중앙		○ (S-BRT)	○(S-BRT)		-	-
	가로변	○			○		
버스정류장(개소)	베이형	69	16	45	26	65	27
	일반	97	40	24	82	91	36

[표 4-23] 3기 신도시 6개 자구 비교(계속)

구분		고양 창릉	부천 대장	인천 계양	하남 교산	남양주 왕숙1	남양주 왕숙2
통행량	전체(통행)	1,033,676	478,248	483,248	1,011,936	1,058,186	267,622
	첨두시(통행)	197,736	47,294	47,723	96,607	104,214	25,135
	승용차비율(%)	46	47	32	36	35	35
	버스비율(%)	21	17	22	22	20	31
교통정온화 구역(개소)		15	7	4	7	12	3
드랍존(개소)		7	-	-	-	-	-
가속차로 길이(m)		40	60(80)	40~60	60	60(725)	40
가속차로 테이퍼 길이(m)		12	15(30)	15	15	15	15
감속차로 길이(m)		30	40(60)	30~40	40	40(625)	30
감속차로 테이퍼 길이(m)		12	15(18)	15	15	15	15
설계속도(km/h)		50-30	50-30(70~80)	50-30	50-30	50-30	50-30
기타		지하차도 차로사이버스전용차로					

제 5 장
교통시뮬레이션 구축 및 분석

LAND & HOUSING INSTITUTE

제5장 교통시뮬레이션 구축 및 분석

1. 교통시뮬레이션 분석 개요

1.1. 교통시뮬레이션 분석 목적

○ 교통시뮬레이션은 1~3단계의 걸쳐 수행할 시뮬레이션을 위한 도로 네트워크 구축과 변수(파라미터)의 조정 등 시뮬레이션 환경 구축이 1차적인 목적임

○ 그리고 각 연구 단계별 수행하고자 하는 시뮬레이션의 주목적은 다음과 같음

- 1단계 : 자율주행차 혼입비율에 따른 교통흐름 변화를 확인 및 문제점 파악
- 2단계 : 문제점 개선방안 및 효과 분석과 자율주행전용차로의 효과 분석
- 3단계 : 보도변 시설 개선의 효과 분석

○ 1단계를 기준으로 정부는 자율주행차 도입을 위한 적극적인 정책을 수립하고 있어, 본 기관에서는 도시계획 측면에서 자율주행차 도입에 따른 교통흐름 변화를 검토해야 함

○ 특히 자율주행차는 점진적으로 확대될 것으로 예측하고 있어, 자율주행차 혼입비율에 따라 도로 기하구조(설계기준 등)의 개선 등이 필요한지 점검하고자 함

- 신도시의 경우 주거단지가 밀집되어 있고, 차량 통행을 원활하게 하기 위해 지하차도, 국도 및 주거단지로 유출입되는 도로, 회전교차로 등 다양한 기하구조로 구성되어 있음

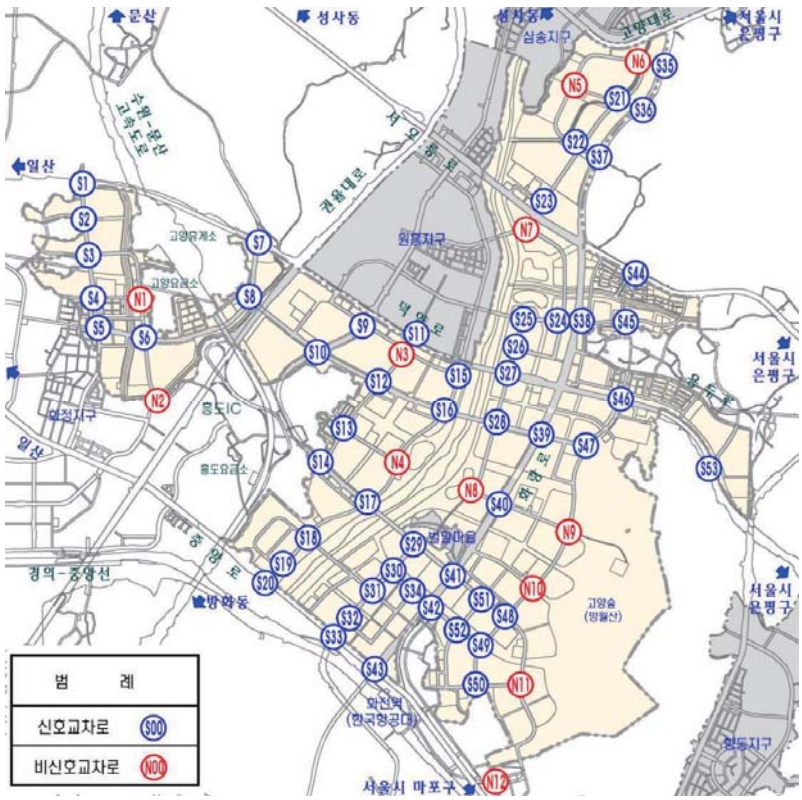
1.2. 분석 대상지 및 자료 수집

□ 분석 대상지

○ 분석 대상지는 고양 창릉지구이며, 신설 교차로를 대상으로 진행함

- 이는 자료 협조, 조사 등을 유기적으로 하기 위함

○ 경기도 고양시 덕양구의 주 간선도로를 포함하고 있으며, 주변에 주거지역과 상업시설이 예정된 제3기 신도시의 특징을 잘 보여주는 곳으로 [그림 5-1]과 같이 65개 신호교차로와 7개의 무신호(점멸)교차로, 7개소, 회전교차로 5개소 포함



[그림 5-1] 분석대상 구간 현황

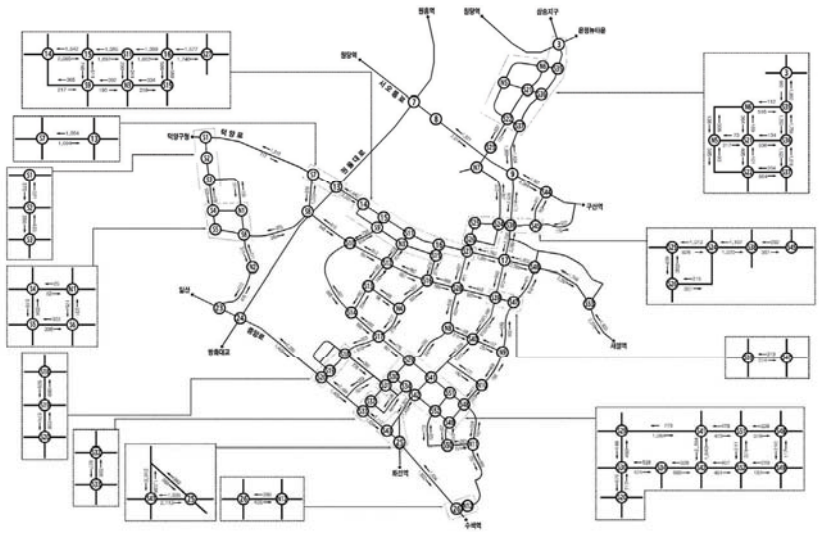
출처 : 한국토지주택공사(2021a)

□ 가로 및 교차로 회전 교통량

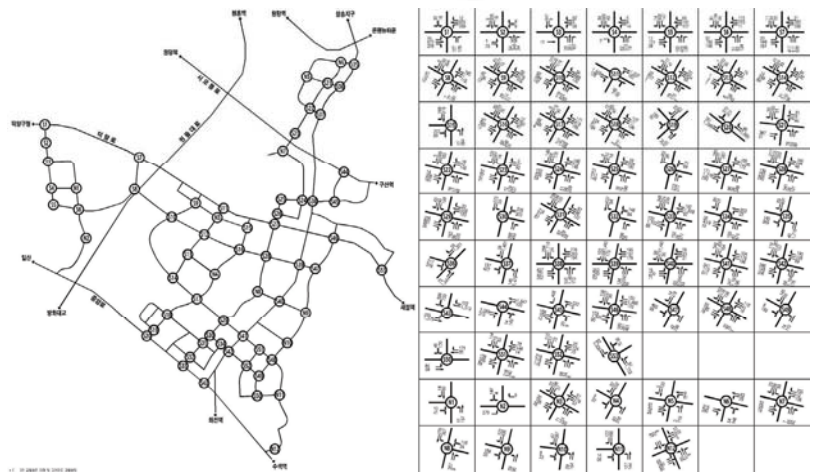
○ 해당 구간은 아직 건설되지 않은 지역이기 때문에 2021년 고양창릉 지구의 교통영향평가에서 제시한 교차로 기하구조, 교통량, 신호주기 등의 자료를 활용함

○ 교차로 기하구조는 도면을 이용 하였으며, 내부 교차로 및 가로 교통량, 교차로 위치는 다음의 그림과 같음

가로구간 교통량도



교차로 교통량도



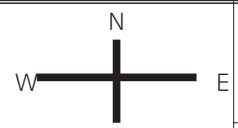
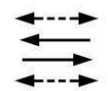
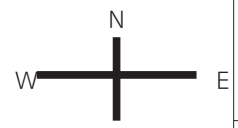
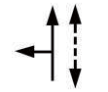
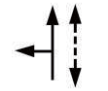
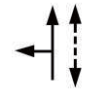
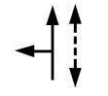
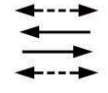
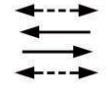
[그림 5-2] 사업지 내부 교통량도(대/시)

출처 : 한국토지주택공사(2021a)

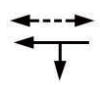
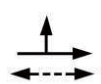
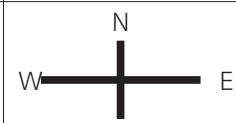
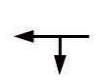
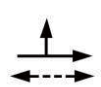
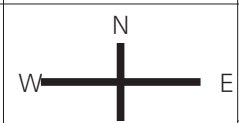
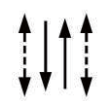
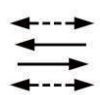
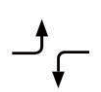
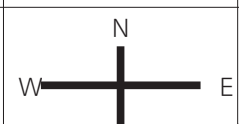
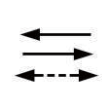
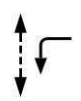
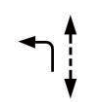
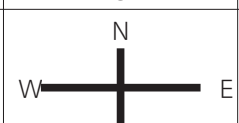
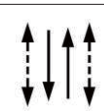
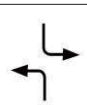
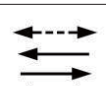
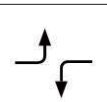
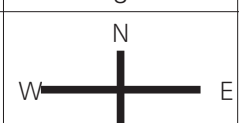
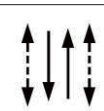
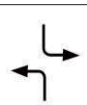
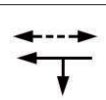
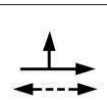
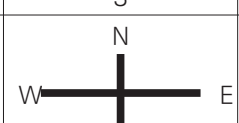
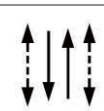
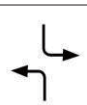
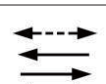
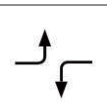
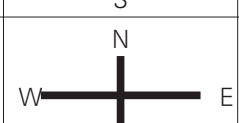
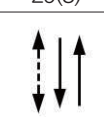
□ 신호 현시

○ 교차로 신호현시는 다음과 같이 제시되어 있었으며, 주기 100~180초로 구성되어 있음

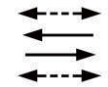
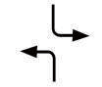
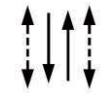
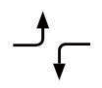
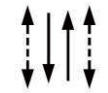
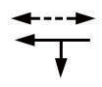
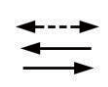
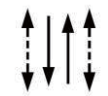
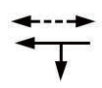
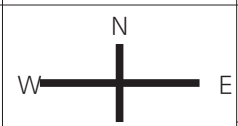
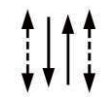
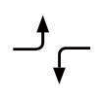
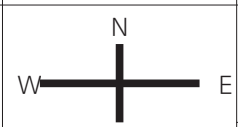
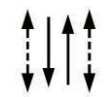
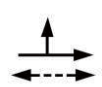
[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
㉑ 신설교차로		 88(3)	 27(3)	 21(3)	 12(3)	160
㉒ 신설교차로		 25(3)	 39(3)	 22(3)	 22(3)	120
㉓ 신설교차로		 25(3)	 39(3)	 22(3)	 22(3)	120
㉔ 신설교차로		 27(3)	 25(3)	 28(3)	 28(3)	120
㉕ 신설교차로		 34(3)	 27(3)	 23(3)	 24(3)	120
㉖ 신설교차로		 51(3)	 12(3)	 31(3)	 14(3)	120
㉗ 신설교차로		 66(3)	 29(3)	 26(3)	 47(3)	180

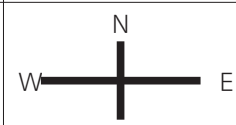
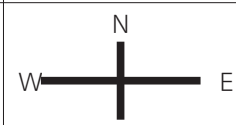
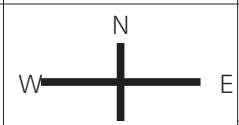
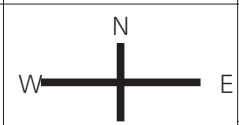
[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획(계속)

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
⑧ 신설교차로						100
		27(3)	27(3)	29(3)	25(3)	
⑨ 신설교차로						120
		45(3)	12(3)	19(3)	32(3)	
⑩ 신설교차로						120
		38(3)	12(3)	46(3)	12(3)	
⑪ 신설교차로					-	180
		103(3)	34(3)	34(3)	-	
⑫ 신설교차로						120
		28(3)	12(3)	56(3)	12(3)	
⑬ 신설교차로						100
		30(3)	12(3)	23(3)	23(3)	
⑭ 신설교차로						120
		29(3)	12(3)	55(3)	12(3)	
⑮ 신설교차로					-	100
		61(3)	12(3)	18(3)	-	

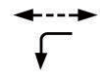
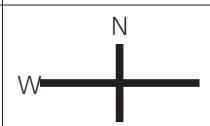
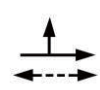
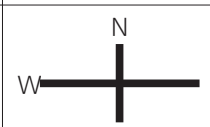
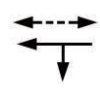
[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획(계속)

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
⑯ 신설교차로						120
		55(3)	12(3)	29(3)	12(3)	
⑰ 신설교차로						120
		25(3)	12(3)	54(3)	17(3)	
⑱ 신설교차로						100
		26(3)	15(3)	28(3)	19(3)	
⑲ 신설교차로					–	100
		53(3)	18(3)	20(3)	–	
⑳ 신설교차로					–	180
		102(3)	36(3)	33(3)	–	
㉑ 신설교차로						100
		20(3)	12(3)	33(3)	23(3)	
㉒ 신설교차로						100
		20(3)	20(3)	28(3)	20(3)	
㉓ 신설교차로						100
		36(3)	12(3)	20(3)	20(3)	

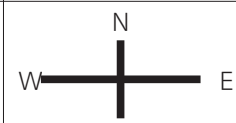
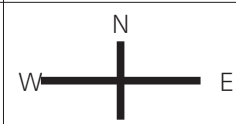
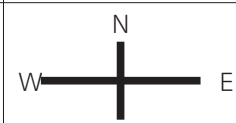
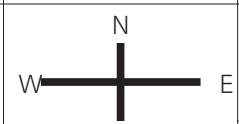
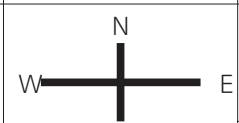
[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획(계속)

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
㉔ 신설교차로						100
		27(3)	25(3)	24(3)	12(3)	
㉕ 신설교차로					–	100
		50(3)	19(3)	22(3)	–	
㉖ 신설교차로					–	100
		44(3)	25(3)	22(3)	–	
㉗ 신설교차로						180
		74(3)	20(3)	37(3)	37(3)	
㉘ 신설교차로						120
		30(3)	15(3)	31(3)	32(3)	
㉙ 신설교차로						120
		33(3)	19(3)	28(3)	28(3)	
㉚ 신설교차로						120
		36(3)	12(3)	32(3)	28(3)	
㉛ 신설교차로						120
		54(3)	12(3)	30(3)	12(3)	

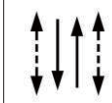
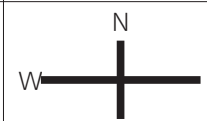
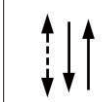
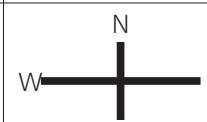
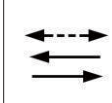
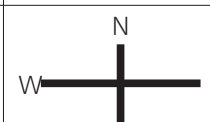
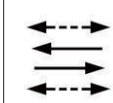
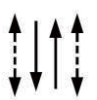
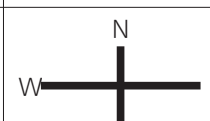
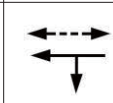
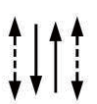
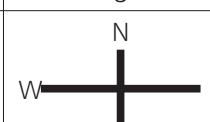
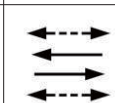
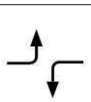
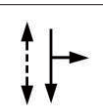
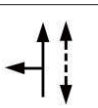
[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획(계속)

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
㉜ 신설교차로					-	120
		57(3)	28(3)	26(3)	-	
㉝ 신설교차로(항공대삼거리)						180
		96(3)	13(3)	33(3)	26(3)	
㉞ 신설교차로						100
		22(3)	14(3)	29(3)	23(3)	
㉟ 신설교차로					-	180
		97(3)	37(3)	37(3)	-	
㊱ 신설교차로					-	180
		96(3)	36(3)	36(3)	-	
㊲ 신설교차로					-	180
		97(3)	37(3)	37(3)	-	
㊳ 신설교차로						180
		46(3)	40(3)	41(3)	41(3)	
㊴ 신설교차로						180
		54(3)	24(3)	45(3)	45(3)	

[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획(계속)

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
㊵ 신설교차로						180
		99(3)	12(3)	45(3)	12(3)	
㊶ 신설교차로						180
		71(3)	23(3)	41(3)	33(3)	
㊷ 신설교차로						180
		69(3)	13(3)	43(3)	43(3)	
㊸ 신설교차로					-	180
		85(3)	32(3)	54(3)	-	
㊹ 신설교차로					-	180
		97(3)	37(3)	37(3)	-	
㊺ 신설교차로						100
		28(3)	20(3)	20(3)	20(3)	
㊻ 신설교차로						180
		93(3)	15(3)	45(3)	15(3)	
㊼ 신설교차로					-	100
		46(3)	19(3)	29(3)	-	

[표 5-1] 사업지 내 신설교차로 신호운영계획(계속)

교차로명	교차로형태	현시				주기(초)
		Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
㊽ 신설교차로						100
		26(3)	21(3)	26(3)	15(3)	
㊾ 신설교차로					–	100
		39(3)	26(3)	26(3)	–	
㊿ 신설교차로					–	100
		40(3)	24(3)	27(3)	–	
(51) 신설교차로						100
		24(3)	19(3)	24(3)	21(3)	
(52) 신설교차로						100
		22(3)	24(3)	30(3)	12(3)	
(53) 신설교차로						180
		90(3)	12(3)	32(3)	34(3)	

2. 시뮬레이션 환경 구축

○ 본 연구를 위해 대규모 네트워크를 처리하도록 설계된 오프 소스 프로그램인 독일 항공 우주센터와 커뮤니티 사용자에 의해 개발된 SUMO(Simulation of Urban MObility)를 활용

- 해당 프로그램은 오픈소스로 누구나 활용할 수 있으며, 데이터 입력이 쉽고 자율주행자동차 구현이 가능함

○ 대상 지역의 교통량, 기하구조, 신호현시 등의 자료를 활용하여 도로 네트워크를 구축하였으며, 자율주행차 관련 파라미터는 선행연구를 참고하여 시뮬레이션 환경을 구성함

2.1. 시뮬레이션 툴 선정

○ 교통시뮬레이션은 차량의 흐름을 표현하는 정도에 따라 거시적(Macroscopic) 시뮬레이션, 중시적(Mesoscopic) 시뮬레이션, 미시적(Microscopic) 시뮬레이션으로 구분할 수 있음

○ 거시적 시뮬레이션

- 분석 범위는 주로 대규모 네트워크로 교통수요 분석에 활용하며, 차량 종류나 특성 등에 상관없이 도로 위에 존재하는 모든 차량의 상태 정보, 차량 흐름 정보 등을 종합하여 전반적인 차량흐름 상태를 파악하는데 활용함
- 일반적으로 교통수요예측 4단계 모형을 기반으로 하며, 분석에 활용하는 주요 도구는 EMME/4, VISUM, TRASNCAD 등임

○ 중시적 시뮬레이션

- 미시와 거시적 시뮬레이션 각각의 특징이 조합된 중간적 단계의 방법이며, 주요 특징은 주변 차량의 영향을 파악하여 시간 및 공간적 차량 특성을 누적시켜 파악할 수 있음

- 차량 간의 상호작용을 반영하는 것은 어렵지만, 대규모 네트워크를 대상으로 활용 가능하며, VISTRO, DynaMIT 등이 있음

○ 미시적 시뮬레이션

- 개별차량의 행태를 반영하여 교통류 제어의 현실적인 모사가 가능하여 교차로 단위 소규모 네트워크 분석, 교통신호분석 등 교통운영 평가 및 교통관리 전략 수립 등에 주로 활용되고 있음
- 차량과 주변 환경 정보를 취득하는 상호작용을 통해 교통흐름을 생성하며, 우리나라에서는 VISSIM이 가장 많이 활용되며, TSIS, Paramics, Aimsun, SUMO 등이 있음

[표 5-2] 교통시뮬레이션 모형 비교

구분	거시적 (Macriscopic)	중시적 (Mesoscopic)	미시적 (Microscopic)
분석범위	대규모 네트워크	대규모 네트워크	소규모 단위 네트워크
모형	교통수요 4단계 모형 반영	거시적, 미시적 모델의 중간단계 반영	개별차량 모형 및 운전행태(차량추종, 차로변경, 경로선택 등) 반영
특징	· 지역 간 교통의 장기적 수요예측 시 활용 · 차량을 군집 개체로 분석	· 거시적 정보와 미시적 정보를 모두 수집하여 현재의 교통 흐름 판단 · 시간 및 공간적 교통행동을 파악 반영 가능 · 차량 간 상호작용 반영 어려움	· 개별 차량 행태로 분석 · 현실적 이동행태 모사 가능 · 차량과 주변 환경 정보 취득 후 차량 간 상호작용을 통해 진행
Tool	EMME/4, VISSUM, TRANSCAD	VISTRO, DynaMIT, TransModeler	SUMO, VISSIM, TSIS, T7F, Paramics, Aimsun

자료 : 변완희 외 (2020)

○ 자율주행차 도입에 따른 교통흐름 영향 여부 분석을 위해서는 자율주행자동차의 운행 특성을 반영할 수 있어야 하므로 중시적 및 미시적 시뮬레이션을 대상으로 검토함

- 거시적 시뮬레이션은 지역 간의 통행, 흐름 위주로 분석하므로 본 연구의 목적에는 맞지 않아 제외

○ 자율주행차를 구현할 수 있는 교통시뮬레이션 모델은 다양하며, 국내에서는 VISSIM을 주로 사용, 국외의 경우 AIMSUN, VISSIM, SUMO 등을 사용

○ 각 시뮬레이션의 기능, 소스코드 수정, 향후 활용 등 다양한 부분을 비교한 결과 본 연구에서는 오픈소스 기반의 SUMO를 사용하고자 함

- SUMO는 자동차의 경로 선택, 도로 설계, 신호등 제어, 자동차 사이의 통신 등을 모의실험하기 위하여 작성된 오픈소스 패키지로 자율주행차 구현이 가능하며, 운전자 행동 특성 파라미터의 수정이 가능한 SUMO를 시뮬레이션 툴로 선정

[표 5-3] 자율주행차량 주행특성 분석을 위한 미시 교통시뮬레이션 비교

구분	License	Extensibility	Agent Oriented	Parallelism/ Distribution	IVC[6]	Interactivity	Maturity Level
VISSIM	Commercial	Yes	No	Yes[3]	No	High	High
PARAMICS	Commercial	Yes	No	Yes[3,4]	No	High	High
AIMSUN	Commercial	Yes	No	Yes[3]	No	High	High
MITSIM	Both	Yes[2]	No[2]	Yes[3]	No	Low	Low
SUMO	GPL	Yes[2]	No[2]	Yes[3]	No[5]	Medium	High
MAS-T2erLab	Free	Yes[1]	Yes[1]	Yes[3]	No	Medium	Low

출처 : Pereira(2011)

각주 : 1 Only for external traffic light control.
2 Being an open-source software. it can be extended through source code modification.
3 Supports Parallel simulation processing.
4 Supports Distributed simulation processing.
5 Successful implementation reported in Christoph Sommer, Isabel Dietrich, and Falko Dressler. Realistic Simulation of Network Protocols in VANET Scenarios. 2007 Mobile Networking for Vehicular Environments, pages 139-143, 2007.
6. Inter-vehicular Communications

2.2. 차량운행 모델링을 위한 모형과 파라미터 설정

○ 시뮬레이션 분석을 위해서 분석 차종, 차량운행모형과 차량 속도, 차량 가·감속, 정지거리, 차두시간 등의 파라미터를 설정함

○ 차종의 경우 2021년 기준 승용차 및 트럭은 신차 판매대수가 가장 많은 모델, 버스는 점유율이 가장 높은 모델로 선정함

○ 차종 비율은 2021년 고양창릉 공공주택지구 교통영향평가에서 조사한 첨두 6시간 기준으로 전체 교차로 차종별 교통량을 합하여 평균한 값을 사용

[표 5-4] 분석 차종 및 비율

차종	모델명	제원(전장)	비율
승용차	그랜저	5,035mm	87.3%
트럭	포터	5,100mm	3%
버스	현대 블루시티	10,000mm	9.7%

○ 모델에서 구현되는 자율주행자동차의 주행특성은 보수적으로 접근함

- 현재 자율주행자동차는 사람이 운전하는 것보다 방어적으로 운전하고 있음
- 그리고 일반차와 혼입 상태에서는 자율주행자동차가 기능적으로는 우수한 성능을 발휘할 수 있지만, 운전자의 예측하기 어려운 운전행태로 인해 보수적으로 작동할 수 있음

[표 5-5] 자율주행자동차의 주행특성 제어변수 값

구분		방어운전 AV	인간운전 차량	공격운전 AV
차두간격분포		1.5	0.8 ~ 1.2	1.25
적극성		0.0	0.0 ~ 1.0	0.0
협력주행(V2X)		적용	적용	적용
추월하는 속도차임계값		80%	90%	80%
안전마진값		2.0	1.0	1.0
반응시간	차량추종	0.1초	1.2초	0.1초
	정지	0.1초	1.6초	0.1초
	교통신호	0.1초	1.2 ~ 5.0초	0.1초
차두간격(차간거리)		1.0초(150m)	-	0.5초(150m)
최대주행속도(법정/설계속도)		1.0	1.1	1.0

출처 : George et al.(2019)

○ 본 분석에서는 SUMO에서 기본적으로 제공하는 모형을 활용하여 일반차량과 자율주행차를 구현함

- SUMO에서는 차량추종모형(Car-following model)과 차로변경형태(Lane change behavior), 운전자 특성(driver model)을 반영하여 차량의 운행을 모델링함
- 차량추종모형에는 일반차량의 경우 SUMO에서 사용되는 기본 모델인 수정된 Krauss 모형을, 자율주행자동차의 경우 CACC 모형을 사용

○ CACC 차량 추종 모형은 속도 제어, Gap 제어, Gap-closing 제어, 충돌 회피 제어 모드로 나뉘며, 각 모드에 대한 설명은 다음과 같음

- 속도 제어 모드 : 운전자가 미리 정의한 원하는 속도를 유지하도록 설계되었으며, 설계가 적용되는 범위 내에 선행 차량이 없거나 시간 간격이 2초보다 클 때 활성화
- Gap 제어 모드 : CACC 장착 차량과 선행 차량 사이의 일정한 시간 간격을 유지하는 것을 목표로 하며, 간격과 속도 편차가 동시에 각각

0.2mm 및 0.1m/s 보다 작을 때 활성화됨

- Gap closing 제어 모드 : 속도 제어모드에서 Gap 제어 모드로의 원활한 전환을 가능하게 하고 시간 간격이 1.5초 미만일 때 작동됨. 시간 간격이 1.5초에서 2초 사이인 경우 CACC 장착 차량은 이전 제어 전략을 유지하여 제어 루프에 hysteresis를 제공하고 두 전략 간에 원활한 전환을 수행
- 충돌 회피 제어 모드 : 안전에 중요한 조건이 우세할 때 후방 충돌을 방지하며 시간 간격이 1.5초 미만이고 간격 편차가 음수일 때 활성화

○ 차량 간 통신과 군집주행(platoon)은 따로 고려하지 않음

◆ 단, 2단계 연구에서 차량 간 통신은 SUMO를 위한 V2X 시뮬레이터인 Veins[35]를 활용하여 구현 예정

35) Veins는 SUMO와 OMNET++를 위해 V2X를 시뮬레이션에서 구현해주는 오픈소스 기반 프레임워크(Framework)

[표 5-6] 차량 제어변수(파라미터) 값(일반차량과 자율주행자동차)

제어 변수	설명	일반 차량	자율주행 차량
minGap	Minimum Gap when standing (m)	2.5m	4.0m
accel	The acceleration ability of vehicles of this type (in m/s^2)	2.6 m/s²	2.6 m/s²
decel	The deceleration ability of vehicles of this type (in m/s^2)	4.5 m/s²	4.5 m/s²
collisionAvoidanceOverride	If the ACC followSpeed is higher than the Krauss-followSpeed by the given value X, limit the speed to Krauss-speed + X to avoid collision	-	2
speedControlGainCACC	The control gain determining the rate of speed deviation (Speed control mode)	-	-0.4
gapClosingControlGainGap	The control gain determining the rate of positioning deviation (Gap closing control mode)	-	0.005
gapClosingControlGainGapDot	The control gain determining the rate of the positioning deviation derivative (Gap closing control mode)	-	0.05
gapControlGainGap	The control gain determining the rate of positioning deviation (Gap control mode)	-	0.45
gapControlGainGapDot	The control gain determining the rate of the positioning deviation derivative (Gap control mode)	-	0.0125
collisionAvoidanceGainGap	The control gain determining the rate of positioning deviation (Collision avoidance mode)	-	0.45
collisionAvoidanceGainGapDot	The control gain determining the rate of the positioning deviation derivative (Collision avoidance mode)	-	0.05

2.3. 기하구조 및 신호현시 수정

○ 네트워크 구축 시 교차로 기하구조와 현시와 맞지 않는 경우, 신호현시 합계가 맞지 않는 경우 등의 오류가 있어서 다음과 같이 수정함

- 캐드도면과 신호현시간 불일치 시 신호현시 기하구조로 네트워크 및 차로 배정(교차로 S23, S32, S37, S44)
- 신호현시 합계가 일치하지 않는 경우
  - S8 : 총 주기 120초로 합계 수정
  - S36 : 각 현시에서 1초씩 증가
  - S47 : 각 현시에서 1초씩 삭제

2.4. 시뮬레이션 환경 구축 결과

○ SUMO로 분석 구간의 네트워크를 구축한 결과는 다음과 같음([그림 5-3])

○ 해당 구간에는 지하차도 2개소가 존재하며, 버스전용차로, 버스정류장, 회전교차로 5개소

[그림 5-3] 분석대상 구간 현황

3. 시뮬레이션 분석

3.1. 시나리오 설정

○ 본 과업의 목적을 달성하기 위해 6개의 시나리오를 설정하고 대상으로 분석을 진행함

○ 시나리오 0은 기준 시나리오로서 자율주행자동차가 운행하지 않는 경우

○ 시나리오 1~5는 자율주행자동차의 혼입률을 20%씩 증가 시킴

- 차종의 구분이 없이 동일하게 전환한다고 가정

○ 시뮬레이션 분석 시간은 1시간 20분으로 하고 시뮬레이션 시작 후 20분의 결과값은 제외

[표 5-7] 분석 시나리오

구분	자율주행차 혼입률(%)	비고
시나리오 0	0	기준 시나리오
시나리오 1	20	차종 비율의 20%, 40% 60%, 80%, 100% 증가로 자율주행자동차가 증가한다고 가정
시나리오 2	40	
시나리오 3	60	
시나리오 4	80	
시나리오 5	100	

3.2. 효과척도 및 분석대상

○ SUMO에서는 다양한 효과척도를 추출할 수 있으나, 본 연구에서는 차량당 지체를 대상으로 결과를 분석함
- 시뮬레이션이 안정화 된 후 다음의 효과지표를 추가함
- 통행시간, 지체시간, 차량속도, 교차로 정지횟수, 대기행렬

○ 분석 대상구간 중 혼잡이 발생하는 구간을 대상으로 분석함
- 회전교차로, 다차로 신호교차로, 가감속차로, 지하차도 입구 및 출구
- 시나리오 0 기준으로 정체가 발생하거나 통행에 어려움을 겪는 구간
- 자율주행자동차 혼입에 의해 정체가 발생하는 구간

○ 네트워크를 중심으로 도로 기하구조, 교통량 유입 등에 차이가 존재하는 3개의 구역으로 구분

[그림 5-4] 분석대상 구간

[표 5-8] 분석 구간별 특성

구분	내용
A구역	• 교차로간 설치간격 최소 140 ~ 350m, 비신호교차로 1개, 신호교차로 7개소 존재 • 대부분 왕복 4차로 도로로 구성, 좌회전 전용차로 설치로 일부구간 차로 수 변화 • 교차로간 통과 교통량 최소 약 500대/시 ~ 1,500대/시(주도로 양방향)
B구역	• 교차로 간격 100 ~ 500m, 지하차도 1개소, 비신호교차로 3, 신호교차로 9개소 존재 • 지하차도 진입 부분 인근 교차로 존재(100m 이내) • 우회전 전용차로 및 2차로 → 6차로 변경 구간 존재(100m 내 변경 요구) • 교차로간 통과 교통량 최소 약 2700대/시 ~ 4,000대/시(주도로 양방향)
C구역	• 회전교차로 3개소, 비신호교차로 1개소, 신호교차로 8개소 존재 • 대부분 좌회전전용, 직/우 동시차로로 구성 • 교차로 간격 100 ~ 450m • 교차로간 통과 교통량 최소 약 500대/시 ~ 900대/시(주도로 양방향)

4. 분석 결과

□ A 구역

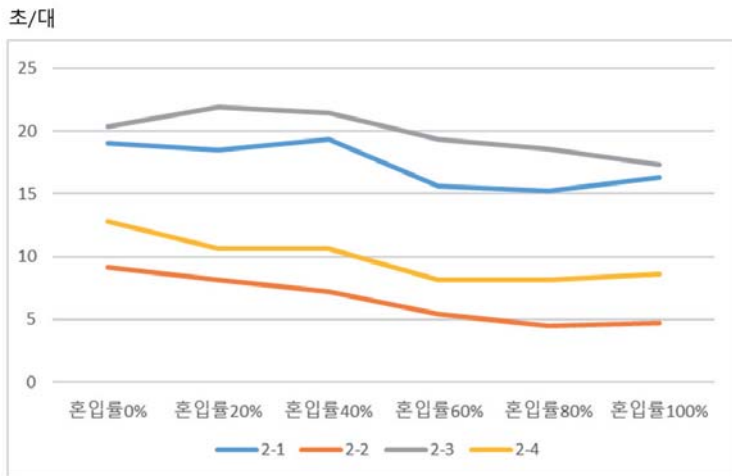
○ A 구역에서 혼잡이 발생하는 구간은 교차로 설치간격이 좁은 구간(S4 ~ 5구간)으로 해당 구간을 주요 분석 구간으로 선정함

[그림 5-5] A 구역 분석 지점

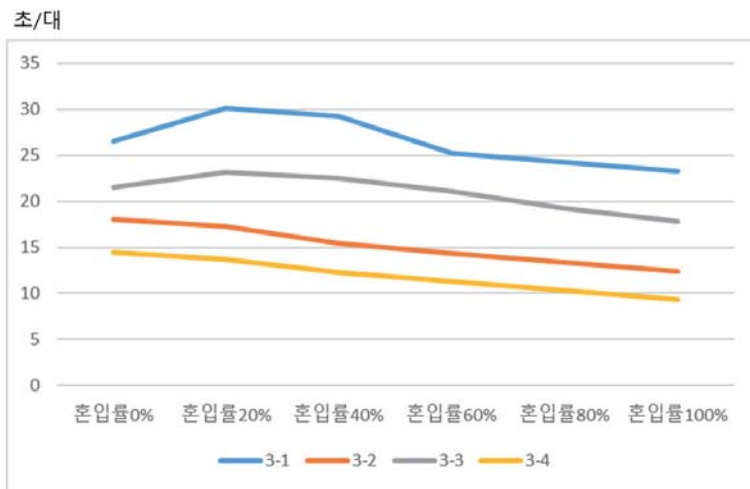
주 : 그림 내 화살표의 적색 테두리는 교통량이 많은 접근로를 의미함

○ 교차로 접근로별 평균지체를 분석한 결과 교통량이 많은 2-1, 2-3 접근로에서는 자율주행차 혼입률 40%까지 평균지체가 증가하다 60%부터 감소하는 추세를 보임

○ 교통량이 많지 않은 2-2, 2-4의 경우 평균지체가 감소하는 경향을 보임



[그림 5-6] A 구역 2번 교차로 접근도로 분석 결과



[그림 5-7] A 구역 3번 교차로 접근도로 분석 결과

□ B 구역

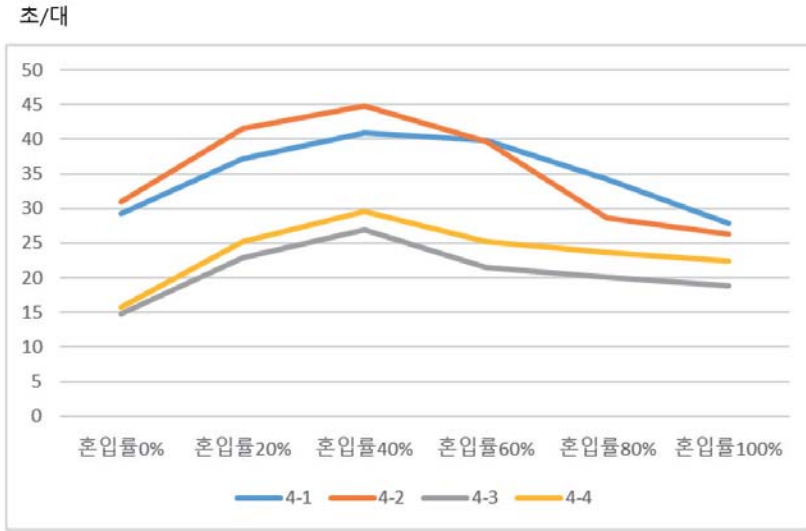
○ B 구역에서 혼잡이 발생하는 구간은 지하차도로 유입되는 구간인 S44 인근과 교차로 설치 간격이 짧은 S36 교차로로 해당 구간을 주요 분석 구간으로 선정

[그림 5-8] B 구역 분석 지점

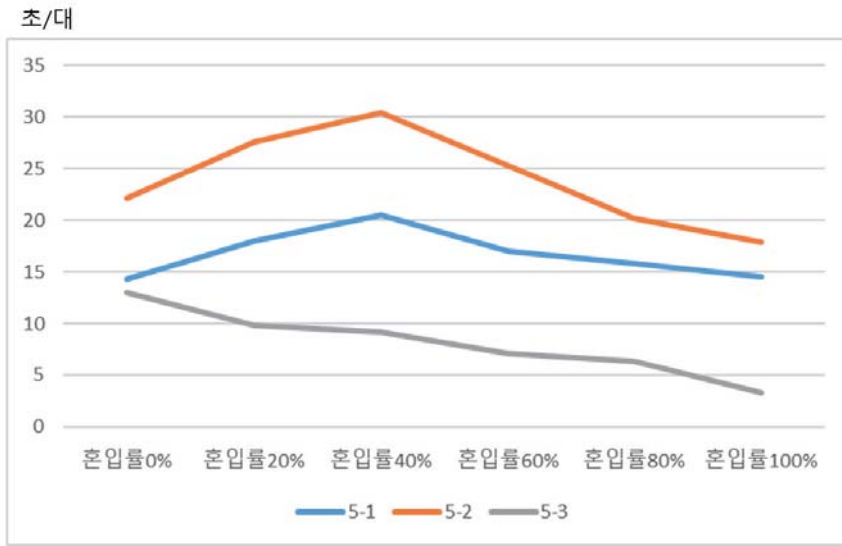
주 : 그림 내 화살표의 적색 테두리는 교통량이 많은 접근로를 의미함

○ 교차로 접근로별 평균지체를 분석한 결과 4번 교차로의 경우 타 지점 대비 차량당 겪는 정체시간이 가장 길었음

○ 이는 지하차도로 유입되는 구간인 S44의 경우 회전 후 지하차도로의 진입부가 100m 이내 존재하며, 4차로에서 2차로로 차로변경 후 다시 좌회전 및 우회전하기 위해 차로를 변경해야 하며, 교통량도 많아 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 정체시간이 길어진 것으로 판단됨



[그림 5-9] B 구역 4번 교차로 접근도로 분석 결과

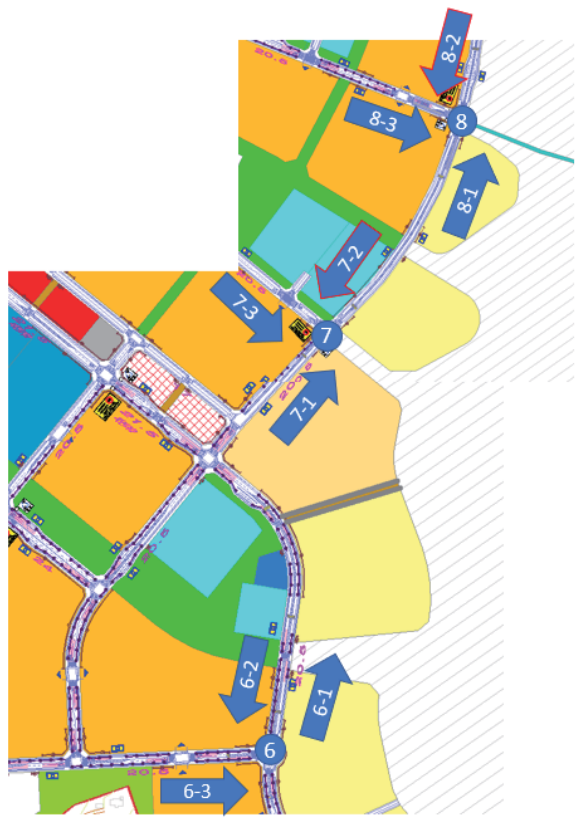


[그림 5-10] B 구역 5번 교차로 접근도로 분석 결과

□ C 구역

○ C 구역의 경우 교통량이 전반적으로 많지 않고 회전교차로가 3개소 설치되어 있음

○ 회전교차로는 통행시간의 단축 효과가 있으며, 자율주행차가 회전교차로로의 진입을 원활하게 하는지, 혹은 정체를 유발하는지 등에 대한 분석을 수행하기 위해 회전교차로 3개소를 분석구간으로 선정

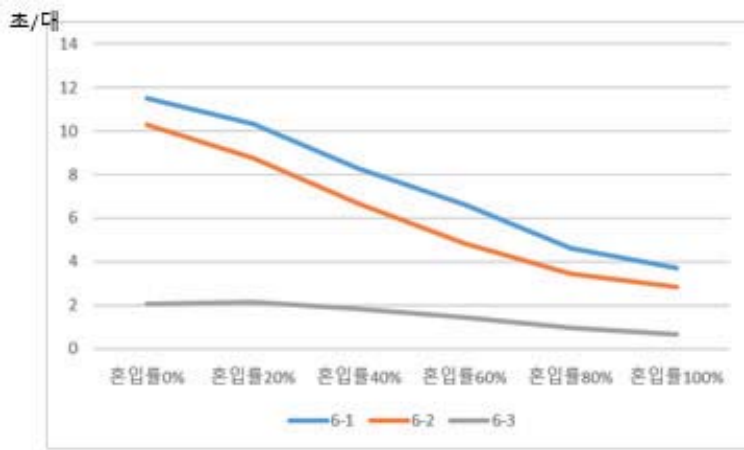


[그림 5-11] C 구역 분석 지점

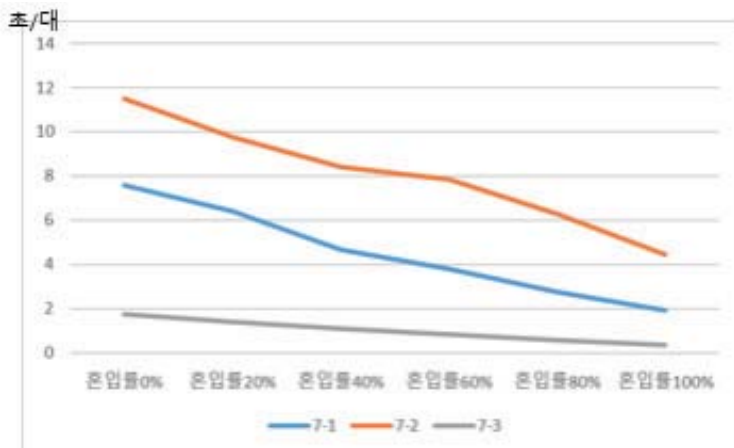
○ 회전교차로는 유형에 따라 교차로 교통량 3,200대/h 이하부터 설치가 가능하며, 해당 구간 또한 교통량이 많지 않은 구간임

○ 자율주행자동차 혼입률에 따른 회전교차로 평균지체를 분석한 결과 정체 현상이 거의 발생하지 않았으며, 자율주행차 혼입률에 따라 정체시간은 감소하는 것으로 분석되었음

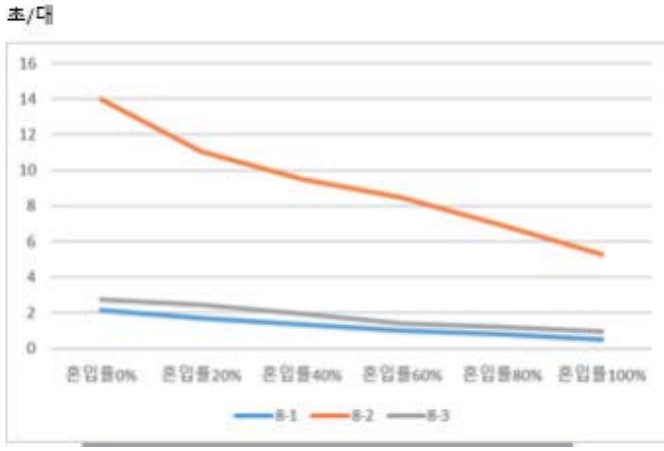
○ 이는 전체적으로 도로가 한산하고 교차로간 간격이 평균 약 300m 이상이며, 왕복 2차로로 대부분 균일하게 운영되기 때문으로 판단함



[그림 5-12] C 구역 6번 교차로 접근도로 분석 결과



[그림 5-13] C 구역 7번 교차로 접근도로 분석 결과



[그림 5-14] C 구역 8번 교차로 접근도로 분석 결과

5. 문제점 및 개선방안

□ 자율주행차 혼입률에 따른 문제점 발생 구간

○ 문헌고찰 결과 자율주행차 혼입에 따른 도로 용량 개선 효과는 존재하나, 이는 서비스수준 A, B 등급일 경우이며, 교통량이 많아지기 시작하는 서비스수준 C 이상인 경우 오히려 정체가 유발되거나 용량 개선 효과가 없다는 연구결과가 존재(박인선 외2015, Shelton 외2019)

○ 시뮬레이션 분석 결과 교통량이 자체가 많은 것보다는 교통량이 많고 부수적으로 어떠한 문제가 같이 해야 정체 현상이 가중되는 것을 확인할 수 있었음

- 교통량이 많은데, 교차로 설치간격이 짧은 경우, 회전을 위한 차로변경 등

○ 특히 자율주행차의 특성상 짧은 구간 내 차로변경을 급격하게 해야 하는 경우 충분한 차간 간격이 확보되지 않는다면 정체 발생은 필연적임

○ B 구역 분석 결과를 살펴보면 차로 수 변경 구간이 반복적으로 조밀하게 존재하여 혼잡 상황을 극대화하였음

○ 짧은 구간 내 차로변경을 급격하게 해야 하는 경우는 다음과 같음
- 자하차도 및 고가도로 유입부
- 교차로간 설치간격이 짧은 경우
- 회전전용차로 이용을 위한 차로 변경
- 감가속차로
- 급격한 차로 수 변화

□ 개선방안

○ 자율주행차 혼입률에 따른 문제점 발생 구간은 앞서 서술한 바와 같이 교통량이 많으면서 짧은 구간 내 차로변경을 급격하게 해야 하는 경우임

○ 따라서 해당 구간이 최소한으로 설치되도록 설계해야 하며, 부득이하게 설치되는 경우 자율주행차의 특성을 고려하여 해당 기준을 완화/설치하는 것이 필요함

○ 물론 해당 방안을 실제 적용하기 전에 기하구조 개선에 따른 효과 여부 검토가 수행되어야 할 것으로 보임

○ 최근 회전 차량을 위해 전용차로 설치, 차로의 균등 배분을 위한 회전차로 포켓 등을 설치하는데, 이에 대한 면밀한 검토가 필요함

제 6 장
결 론

LAND & HOUSING INSTITUTE

제6장 결 론

1. 연구 결과

□ 연구 개요

○ 본 연구는 신도시에서 자율주행 교통수단의 원활한 운영을 위해 현재 설계된 도로 네트워크의 문제점을 파악하고, 도로와 도시 인프라의 개선과 신규 시설의 도입 방향 제시를 목적함

○ 연구의 대상지는 자율주행 교통수단의 운행을 고려하지 않고 설계된 3기 신도시 중 토지이용계획과 교통계획이 완료된 6개 지구로 함

○ 본 연구는 1, 2, 3단계의 연구로 계획되었으며, 단계별 주요 연구내용은 아래와 같음

○ 1단계 주요 연구내용

- 자유주행 교통수단의 특성 검토 및 상용화 전망
- 자율주행 도입 시 변화가 예상되는 주요 물리적 인프라와 개선방향에 대한 문헌 검토
- 3기 신도시 6개 지구의 도로·교통 현황 및 특성 검토 및 모델링 대상지 선정
- 도로 네트워크의 효율과 문제점 파악을 위한 시뮬레이션 모델링 네트워크 구축

○ 2단계 주요 연구내용

- 도로 네트워크 및 도로 요소의 문제점 상세 도출과 개선 방법 도출
- 시뮬레이션을 통한 개선방법 검증
- 자율주행전용차로의 효과 분석 및 도입 방안

○ 3단계 주요 연구내용

- Flex Zone 등 도로변 시설의 도입 효과와 방안 마련
- Flex Zone 등 도시 공간 재설계 방향 및 기준 제시
- 1~3단계 연구를 종합하여 종합개선방안 도출

□ 1단계 주요 연구결과

○ 자율주행자동차 상용화 전망 도출

- 해외 비즈니스 컨설턴트와 기관들의 전망을 종합하면 자율주행자동차의 상용화는 2027~2028년경에 이루어질 것으로 전망
- 2040년에는 판매차량의 10~30% 정도가 자율주행 Lv3 이상의 기능을 보유할 것이며, 2050년에는 혼입률이 35% 수준으로 예상되나, Lv3가 Lv4보다는 다수 전망
- 승용차와 로보택시와 같은 공유차량을 중심으로 자율주행자동차가 확산될 것이며, 대중교통과 화물차는 단계적으로 도입
  - ◆ 단, 대중교통의 경우 인프라와 정책적 지원 여부에 따라 촉진 가능
- 2020년 이전의 예측에 비해 상용화와 활성화 예측이 늦어지는 경향 있음
- 국내의 자동차 회사 동향과 해외 자료를 기반으로 국내의 자율주행자동차 증가를 예측하면 전체 차량 대비 2030년 약 2%~4%, 2035년 10%, 2044년 40%, 2051년 80% 수준 예상

○ 개선 또는 신규 도입이 필요한 인프라 항목 도출

- 기존 연구는 도로선형 설계요소, 도로의 교통시설, 도시의 공간설계, 교차로 및 교통시설, 자율주행 전용시설, 디지털 인프라 등의 항목에 대해 개선 또는 신규 도입을 필요하다고 분석
- 그러나 도로선형 설계요소와 같이 자율주행 100%를 전제로 개선이 가능한 항목은 중·단기적으로는 제외 필요
- 본 연구의 목적에 맞는 개선 항목은 도로의 교통시설 중 노면표시(라인마킹)과 교통표지판, 보도변 공간 재설계(Flex zone), 전용차로, 모빌리

티 허브, 교차로, 도로 진출입 및 합류부가 있음

- 주요 항목에 대해 자율주행자동차 혼입률의 변화에 따라 단기, 중기, 장기로 구분하여 단계별 도입 방안을 제시

◆ 보다 상세한 방안은 2, 3단계 연구를 마친 후 종합하여 제시

○ 교통시뮬레이션 구축

- 3기 신도시 6개 지구의 교통 및 도로 네트워크, 인구계획 등을 고려하여 모델링 대상지를 고양창릉지구로 선정
- 도로 네트워크의 효율과 문제점을 파악하기 위해 시뮬레이션 네트워크를 구축함

○ 교통흐름상의 문제점

○ 시뮬레이션 분석 결과 교통량이 자체가 많은 것보다는 교통량이 많고 부수적으로 어떠한 문제가 같이 해야 정체 현상이 가중되는 것을 확인할 수 있었음

○ 특히 짧은 구간 내 차로변경을 급격하게 해야 하는 다음과 같은 경우에 정체가 발생

- 자하차도 및 고가도로 유입부
- 교차로간 설치간격이 짧은 경우
- 회전전용차로 이용을 위한 차로 변경
- 감가속차로
- 급격한 차로 수 변화

2. 연구의 한계

□ 자율주행자동차 관련 연구의 한계

○ 자율주행 교통수단에 대한 연구는 아직 진행형이며 명확한 결론이 나오지 못함

○ 기존 연구의 다수가 고속도로 중심이며 도심 운행에 대한 것은 아직 이론적이며 컨셉 구상 중심

- 도심 운행을 위한 도로 및 공간설계에 대한 실증은 24년부터 진행 예상

○ 개별 개선 항목에 대한 보다 면밀한 검토와 방안 연구가 필요

- 각 개선 항목마다 하나의 큰 연구 주제로 지속적인 연구와 업데이트가 필요

□ 1단계 연구에서 문제

○ 시뮬레이션 모델링과 관련한 주요 이슈가 도출됨

○ 오픈소스 프로그램인 SUMO를 활용하여 모델링을 진행 중이나 완벽한 매뉴얼 및 국내 전문가 부족

- 상용 프로그램에 비해 더 많은 적응 및 Try and Error 시간 소요

○ 고양창릉의 도로 네트워크의 규모가 마이크로 모델수준에서는 커 현재 위탁기관 및 연구원이 보유한 컴퓨터 시스템이 충분한 지원을 못함

- 잦은 시스템 다운과 느린 반응의 문제

○ 연구 진행을 위한 개선방안 검토 필요

- 고양창릉의 교통존 재설정
- 고양창릉의 도로 네트워크를 세분화
- 주요 항목 중심으로 모델링 하는 방법

3. 향후 연구 방향

○ 2차 연구에서는 1차 연구의 연속선상에서 다음의 연구를 수행
- 고양창릉의 모델링을 존 재설정 등 보다 정밀하게 조정함
- 또한 대상지 내외 교통량의 적절한 반영
- 자율주행자동차의 V2X 통신 환경 반영
- 보수적인 자율주행자동차 운행 특성에 추가하여 보다 적극적인 행동 특성 반영
- 문제점의 보다 정밀한 도출 및 개선 방법, 효과 분석
- 자율주행전용차로 도입의 시나리오 구상 및 효과 분석

○ 3차 연구에서는 다음의 연구를 수행

○ 연구의 범위를 조정함
- Flex Zone 등 도시 시설물의 효과 분석과 적용방안 도출
- 보도변 재설계 방향 및 기준 도출
- 종합 가이드라인 마련

참 고 문 헌

LAND & HOUSING INSTITUTE

참고문헌

[국내문헌]

강경표·이경수·서대화(2022), 「자율주행기반 대중교통시스템 실증연구 최종보고서」.

강민희·임이정·송재인·황기연(2019), "AV 도입에 따른 고속도로 진출입구간 교통류 효과분석 -서울 신갈 상행 진출입구간을 중심으로-", 「교통연구」, vol.26, no.4, pp.33-47.

관계부처합동(2019), 「미래자동차 산업 발전전략 : 2030년 국가 로드맵」.

김광호·박종일·윤태관(2018), 「자율주행차 상용화를 고려한 도로부문 대응과제 : 도로 설계 및 계획을 중심으로」, 국토연구원, 수시 18-16.

김규옥(2019), "자율주행 대중교통 공공성 확보를 위한 쟁점과 개선방향", 「방송미디어」, v.24, no.1, pp.77-83.

김문식·박선홍·문철우·정도현(2020), "자율주행 셔틀 서비스 개발 동향", 「오토저널」, vol.42, no.4, pp.32-37.

박상현 (2022), "자율주행차 글로벌 산업 동향", 「이슈분석」, KDB미래전략연구소.

서영희 (2017), "자율주행자동차 시장 및 정책 동향", 「SW중심사회」, 6월호, 소프트웨어정책연구소.

윤덕근(2022 a), "자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발", 국토교통부 보고자료.

윤덕근(2022 b), "자율주행시대 도로인프라 변화방향", 서울연구원 세미나 발표자료. 2022.12.01. 개최.

윤태관·임영태·박종일·이혁기·연규봉·정기윤 (2019), 「자율주행기반 대중교통체계 구축 방안 연구 : BRT 및 셔틀 도입을 중심으로」, 기본 19-17, 세종: 국토연구원.

박인선·이종덕·이재용·황기연(2015), "자율주행차량 도입에 따른 고속도로 교통류 영향분석 - 경부고속도로 서울-신갈 기본구간을 중심으로", 「한국ITS학회 논문지」, 14(6), pp.21-36, DOI : 10.12815/kits.2015.14.6.021.

변완희(2021), 「퓨처라마-미래모빌리티 혁명의 미래」, 크레파스북: 서울.
변완희·기호영·신도겸·박지은(2021),「자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구」, 연구지원 2022-008호, 대전 : LH 토지주택연구원.
변완희·기호영·신도겸·박지은·이연화(2022),「성남금토지구의 자율주행자동차 주행 환경 요구사항 분석 및 운영 방안 연구」, 연구지원 2022-008호, 대전 : LH 토지주택연구원.
배솔·이종덕·정민균·문영준(2020), "도심 커뮤니티부 자율주행셔틀 서비스를 위한 주행 시험평가방법론 개발", 「대한교통학회지」, 83, pp.395-400.
한국토지주택공사(2021a), 「고양창릉 공공주택 교통영향평가」, ㈜한국종합기술.
한국토지주택공사(2021b), 「부천대장 공공주택지구 교통영향평가」, ㈜한국종합기술.
한국토지주택공사(2021c), 「인천계양 테크노밸리 공공주택지구 교통영향평가」, ㈜케이지엔지니어링종합건축사무소.
한국토지주택공사(2021d), 「하남교산 공공주택지구 교통영향평가」, ㈜건화.
한국토지주택공사(2021e), 「남양주왕숙1 공공주택지구 교통영향평가」, ㈜건화.
한국토지주택공사(2021f), 「남양주왕숙2 공공주택지구 교통영향평가」, ㈜도화엔지니어링.

[국외문헌]

AbdelGawad, H. and Othman, K.(2020), "Multifaceted Synthesis of Autonomous Vehicles' Emerging Landscape", *In Connected and Autonomous Vehicles in Smart Cities,* CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 67-113.
Al-Turki, M., Ratrout, N. T., Rahman and Assi, K. J.(2022), "Signalized Intersection Control in Mixed Autonomous and Regular Vehicles Traffic EnvironmentA Critical Review Focusing on Future Control", *IEEE*, vol 10, ODI: 10.1109/ACCESS.2022.3148706.

Amelink, M.,Kulmala, R., Jaaskelainen, J., Sacs, I., Narroway, S., Niculescu, M., Rey, L. and Alkim, T.(2020), "Road map and action plan to facilitate automated driving on TEN road network", *European Commission*, Brussels, Belgium.

Aryal, P.(2020), *Optimization of Geometric Road Design for Autonomous Vehicle,* Master's Thesis, KTH Royal Institute of Technology.

ATKINS(2016), *Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) on Traffic Flow:Stage 2 Traffic Modelling and Analysis Technical Report*.

Austroads(2022a), *Minimum Physical Infrastructure Standard for the Operation of Automated Driving Part B : Scenarios for Potential Availability and Usage of Different Levels and Types of Automated Driving*, Research Report AP-R665B-22.

Austroads(2022b), *Minimum Physical Infrastructure Standard for the Operation of Automated Driving Part B : Scenarios for Investment in Physical Road and Roadside Infrastructure*, Research Report AP-R665C-22.

Boualam, O., Borsos, A., Koren, C., and Nagy, V.(2022), "Impact of Autonomous Vehicles on Roundabout Capacity", *Sustainability*, 14, 2203.https://doi.org/10.3390/su14042203

Carsten, O. and Kulmala, R.(2015), "Road transport automation as a societal change agent", *In Transportation Research Board Conference Proceedings,* Third EU-U.S. Transportation Research Symposium, Washington, DC, USA.

EuroRAP.(2021), "Roads That Cars Can Read: A Quality Standard for Road Markings and Traffic Signs on Major Rural Roads". Available at www.eurorap.org/wp-content/uploads/2015/03/roads_that_cars_can_read_2_spread1.pdf.

EU EIP(2020), *Attributes of physical and dgital infrastructure for highly automated driving from EU EIP amd MANTRA,* available at : www.its-platform.eu.

Gavanas, N.(2019), "Autonomous Road Vehicles: Challenges for Urban Planning in European Cities". *Urban Sci.*

George,M., Joan, R. S. and Aimsun, B. M.(2019), "Modelling CAVs On the UK's Motorway Network-Outputs from the HUMANDRIVE project", Proceedings of the 17th Annual Transport Practitioners' Meeting, Oxford.

Hafiz, D. and Zohdy, I.(2021), "The City Adaptation to the Autonomous Vehicles Implementation: Reimagining the Dubai City of Tomorrow", *In Advanced Controllers for Smart Cities,* pp. 27-41, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.

Haider, AM and Wijayaratna, K.(2018), 'Redesigning roadway infrastructure for mixed autonomous and non-autonomous traffic', *Australasian transport research forum, 40th*, Darwin, Northern Territory, ATRF, Canberra, ACT.

Hallmark, S, Veneziano, D. and Litteral, T.(2019), *Preparing local agencies for the future of connected and autonomous vehicles,* Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA.

Heinrichs, D.(2016), *Autonomous Driving and Urban Land Use. In Autonomous Driving,* pp. 213-231, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.

Huggins, R., Topp, R., Gray, L., Piper, L., Jensen, B., Isaac, L., Polley, S., Benjamin, S. and Somers, A.(2017), *Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles,* Research Report AP-R543-17, Austroads: Sydney, Australia.

IHS Markit(2020), *Autonomous vehicles whitepaper,* IHS Markit, London, UK, viewed 19 October 2021.

Johnson, C.(2017), *Readiness of the Road Network for Connected and Autonomous Vehicle,* RAC Foundation: London, UK.

Kalda, K., Sell, R. and Soe, R-M.(2021), "Self-driving Shuttle Bus Use Case in City of Tallinn", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1140, 012047.

Khoury, J., Amine, K. and Saad, R.A.(2019), "An Iinitial Investigation of the Effects of a Fully Automated Vehicle Fleet on Geometric Design", *J.of Adv. Transp.*

Kumar, D. M.(2022), "Automakers Look to Vision-based Systems as Key Enablers for ADAS and Autonomous Driving Applications", Frost&Sullivan website, accessed on December, 19, 2022, https://www.frost.com/frost-perspectives/automakers-look-to-vision-based-systems-as-key-enablers-for-adas-and-autonomous-driving-applications/.

Kuutti, S., Fallah, S., Katsaros, K., Dianati, M., Mccullough, F. and Mouzakitis, A.(2018), "A survey of the state-of-the-art localisation techniques and their potentials for Autonomous Vehicle applications", *IEEE Internet Things J.*

Liu, Y., Tight, M., Sun, Q. and Kang, R.(2019), "A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles(CAVs)", *Journal of Physics: Conf. Series,* 1187.

Lyon, B., Hudson, N., Twycross, M., Finn, D., Porter, S., Maklary, Z. and Waller, T.(2017), "Automated Vehicles: Do We Know Which Road to take?", *Infrastructure Partnerships Australia*: Sydney, Australia, Available at https://infrastructure.org.au/wp-content/uploads/2017/09/AV-paper-FINAL.pdf

Machiani, S. Jahangiri, A. Melendez, B. Katthe, A. Hasani, M. Ahmadi, A. Musial, W.(2021), *Safety Impact Evaluation of a Narrow Automated Vehicle-Exclusive Reversible Lane on an Existing Smart Freeway*, Safe-D Project 04-Safe-, National UTC; San Diego State University: San Diego, CA, USA,

Marquis, R. and Ellwood, H.(2021), *Self-Driving Electric Vehicles for Smart and Sustainable Mobility: Evaluation and Feasibility Study for Educational and Medical Campuse*, NYSERDA Report 21-16.

McCarville, I.(2019), *How Autonomous Vehicles Will Reshape the Urban Landscape; City and Regional Planning Department*, California

Mitchell, M.(2010), "An analysis of road signage and advertising from a pragmatic visual communication perspective: Case study of the M1 Motorway between the Gold Coast and Brisbane", *J. Australas. Coll. Road Saf,* 21, pp.55-64.

MnDOT(2019), *CAV Scenario Planning Report*, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA.

MnDOT(2021), *MINNESOTA GOVERNOR'S COUNCIL ON CONNECTED & AUTOMATED VEHICLES*, ANNUAL REPORT, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, USA.

National Parking Association(2018), *Smart Solutions for Shared Mobility*. Available at https://cdn.ymaws.com/weareparking.org/resource/resmgr/advocacy /congestion/NPA_The_Future_of_Parking_Il.pdf.

Othman, K.(2021), "Impact of Autonomous Vehicles on the Physical Infrastructure: Changes and Challenges", *Designs*, 2021, 5, 40. https://doi.org/10.3390/

Pereira, J. L. F.(2011), A*n Integrated Architecture for Autonomous Vehicles Simulation*, FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE

DO PORTO, Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Polytechnic State University: San Luis Obispo, CA, USA.

Saeed, TU.(2019), 'Road infrastructure readiness for autonomous vehicles', PhD thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA. Available at https://hammer.figshare.com/articles/Road_Infrastructure_Readiness_for_Autonomous_Vehicles/8949011/1

Sage, A.(2021), "Where's the Lane? Self-driving Cars Confused by Shabby US Roadways". Available at https://www.reuters.com/article/us-autos-autonomous-infrastructure-insig/wheres-the-lane-self-drivingcars-confused-by-shabby-u-s-roadwaysidUSKCN0WX131

Schlossberg, M.(2018), *Rethinking the Street in an Era of Driverless Cars. Urbanism Next Research,* University of Oregon: Eugene, OR, USA,

Seattle(2020), *Seattle 2035 Comprehensive Plan: Managing Growth to Become an Equitable and Sustainable City 2015-2035*.

Shelton, J., Wagner, J., Samant, S., Goodin, G., Lomax, T. and Seymour, E. (2019), "Impacts of connected vehicles in a complex, congested urban freeway setting using multi-resolution modeling methods", *International Journal of Transportation Science and Technology,* 8(1), pp. 25-34, ODI: 10.1016/j.ijtst.2018.06.004.

Shepard, M.(2018), "Flex Zone/Curb Use Priorities in Sealttle", Available at https://www.seattle.gov/transportation/projects-andprograms/programs/parking-program/parking-regulations/flex-zone/curb-use-priorities-in-seattle.

Snyder, R.(2018), *Street Design Implications of Autonomous Vehicles*; Public Square", A CNU Journal: Washington, DC, USA. Available at

https://www.cnu.org/publicsquare/2018/03/12/street-design-implications-autonomous-vehicles

Tibljaš, A. D., Giuffrè, T., Surdonja, S. and Trubia, S.(2018), "Introduction of Autonomous Vehicles: Roundabouts Design and Safety Performance Evaluation", *sustainability*, 10, DOI : 1060; doi:10.3390/su10041060.

Vander Laan, Z. and Sadabadi, KF.(2017), "Operational performance of a congested corridor with lanes dedicated to autonomous vehicle traffic", *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 6(1), pp. 42-52.

Ye, L. and Yamamoto, T.(2018), 'Impact of dedicated lanes for connected and autonomous vehicle on traffic flow throughput', *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 512, pp. 588-97.

[법률, 고시, 지침]

국토교통부(2022.12.11.), 「자동차관리법」, 2022.11.14. 읽음.

경찰청(2022), 「교통노면표시 설치 관리 업무편람」.

[인터넷 자료]

강동훈(2021.02.), "키워드로 보는 자율주행차 (레벨) 편-테슬라, 웨이모의 수준은?", HL 디지털 허브

경기도자율주행센터 홈페이지, 2022.11.09. 읽음. www.ggzerocity.or.kr

경기통계 홈페이지, 2021.11.1. 읽음. https://stat.gg.go.kr/statgg/main.html

곽노필(2022.03.02), "구글, 13년만에 유료 자율주행택시 승인 받았다", 한겨레.

국토부 보도자료(2021.11.25.), "세종시에서 자율주행 기반 대중교통 기술 선보여", 국토교통부.

국토부 보도자료(2022.05.26.), "자율주행 안전성 높인다. 레벨3 안전기준 개정 추진", 국토교통부.

국토교통부-한국도로공사 C-ITS 시범사업 홍보관 홈페이지, 2021.11.1.읽음.
http://c-its.kr
김현정(2021.03.), 자율주행 자동차, 완전자율주행에 도전하다, 사이언스타임즈
김지희·유창욱(2022.07.) 로보셔틀 자율주행 레벨4 GM.포드에 도전장, 서울신문
서울신문 온라인뉴스(2022.09.26), "서울 청계천서 자율주행셔틀버스 첫 운행", 서울신문. www.seoul.co.kr/newView.php?id=2022092600079
채영석(2022.10.11),"자율주행차-21.GM 자율주행 크루즈 어디까지 왔나?", 글로벌오토뉴스, global-autonews.com/bbs/board.php.
현대차뉴스룸 (2021.07.13), "현대차 로보셔틀, 세종 스마트시티 달린다", 현대자동차. http://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/press-release
C-ITS 시범사업 홍보관 웹사이트, "C-ITS개념", 2022.11.17. 읽음. c-its.kr/introduction/introduction.do
SKT뉴스룸(2019.06.20),"skt, 서울시와 5G 자율주행 테스트배드 공개:, SKT. new.sktelecom.com/142645
SKT뉴스룸(2021.06.08),"K-자율주행 시대 열린다", SKT. news.sktelecom.com/131247
3기 신도시 홈페이지, 2022.06.21. 읽음. www.3신도시.kr
Boston Comsulting Group(BCG) (2022), "Mobility", available at https://www.bcg.com/industries/public-sector/mobility
Continental Engineering Service website, "ADSAS Sensors and Computing Hardware for 360° Perception", Accessed on December 15, 2022. https://conti-engineering.com/areas-of-expertise/automotive/adas/
Cruise website, Accessed on November 09, 2022. http://.getcruise.com
Forconstructionpros website, "How Connected Vehicles Make Work Zones Safer", Accessedom December 02, 2022. http://www.forconstructionpros.com/asphalt/article/20867242/how-connected-vehicles-make-work-zones-safer

GM Cruise Website(2022) Accessed on December 18, 2022. https://getcruise.com/technology/

SAE International website, Accessed on June 06, 2022. http://sae.org

Seattle DOT(Department of Transportation) website, "Flex Zone/Curb Use Priorities in Seattle", Accessed on December 01, 2022. https://www.seattle.gov/transportation/projects-and-programs/programs/parking-program/parking-regulations/flex-zone/curb-use-priorities-in-seattle.

WaymoOne website, Accessed on November 09, 2022. http://waymo.com/waymo-one

3M (2017), "Science Applied to Life. Helping Improve the Safety of Your Road Systems Today and in the Future", Available at https://www.3m.com/