

자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구

연구지원 2020-142호

자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구

지은이 변완희 · 기호영 · 신도겸 · 박지은

발행인 황희연

발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원

편 집 박지은

주소 (우)305731 대전광역시 유성구 엑스포로 539번길 99

전화/전송 042) 866-8445 / 866-8547

전자우편 whbyun@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.

연구지원 2020-142

자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구

참여연구진

연구총괄

변완희 LH 토지주택연구원 연구위원

공동연구진

기호영 LH 토지주택연구원 수석연구원

신도겸 LH 토지주택연구원 책임연구원

박지은 LH 토지주택연구원 연구원

위탁용역(FGI 및 현황조사) : (주)지알아이리서치

위탁용역(시뮬레이션) : (사)한국ITS학회

연구심의위원(가나다순)

김태균 LH 토지주택연구원 연구위원

남궁성 도로교통연구원 선임연구위원

신희철 한국교통연구원 본부장 (심의위원장)

오성훈 건축공간연구원 선임연구위원

윤정란 LH 토지주택연구원 연구위원

이백진 국토연구원 선임연구위원



연구 요약

1. 연구 개요

□ 연구의 배경 및 목적

- 자율주행자동차는 도시 공간 구조에 큰 변화를 줄 것이다. 그중 주차장 감소와 도로 용량 증가로 인한 도로폭 감소 영향이 가장 클 것이다. 도시 내 주차장이 줄어들면 오늘날의 공동주택이나 상업시설의 설계에도 큰 변화가 있을 것이다. 새로운 건축물은 공사비가 절감되거나, 더 유용한 시설 공급의 여유가 생길 것이다. 도로 용량이 증가하면, 지금과 같은 광로와 대로 수준의 도로가 불필요해져 도시 개발에 필요한 대지면적을 줄일 수 있거나, 보행자 도로나 녹지대를 크게 확장할 수도 있을 것이다.
- 도시 개발은 일반적으로 기획부터 준공까지 10년 이상이 소요되는 장기 프로젝트이다. 따라서 자율주행자동차 시대의 주차장과 도로의 변화를 추정하고 명확히 이해하는 것은 미래 도시계획의 변화에 대응하는데 있어 매우 중요하다. 이에 본 연구는 자율주행자동차가 일상화될 것으로 예상되는 2030년 이후의 도시 공간구조의 변화를 이해하는데 필요한 주차장 및 도로 감소 효과를 이해하고 계량화하는 것을 목적으로 하였다.

□ 주요 연구 내용

- 자율주행자동차의 정의 및 전망
 - 자율주행자동차의 정의 및 기술 구성
 - 자율주행자동차 기술 개발 단계
 - 자율주행자동차법과 2030 산업발전전략
 - 국내외 자율주행자동차 개발 동향

- 자율주행자동차 상용화 전망
- 선행 연구 고찰
 - 통행행태에 관한 연구
 - 토지이용 및 공간구조에 관한 연구
- 시뮬레이션을 활용한 도로 용량 및 차로 감소 분석
 - 시뮬레이션 분석 개요
 - 시뮬레이션 환경 구축
 - 시뮬레이션 분석 및 결과 도출
- 사례 분석을 통한 주차장 및 도로 면적의 감소 효과 분석
 - 부설주차장의 단위 면적 분석 및 감소 효과
 - 도로 용량 증가 효과
 - 사례 지역의 부설주차장 및 도로 면적 감소 효과 예측
- 주차장 및 도로 감소에 따른 도시 공간의 변화 전망
 - 도시 공간구조
 - 도로 교통
 - 건축물
 - 도시 경관

2. 시뮬레이션을 활용한 도로 용량 및 차로 감소 효과 분석

2.1 분석 개요

□ 시뮬레이션 분석 목적

- 본 연구는 자율주행자동차가 도시 내에서 교통흐름과 도로 용량 측면에서 어느 정도 영향이 있는지 시뮬레이션을 활용하여 분석하였다. 시뮬레이션 분석 목적은 다음과 같다.
 - 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차량흐름 상태와 도로 용량 변화
 - 자율주행자동차 혼입 비율 및 교통량 변화(증가)에 따른 차량흐름 상태 변화
 - 자율주행자동차 혼입(50%)과 완전자율주행자동차 시대(100%)의 도로 다이어트 (road -diet) 가능성 분석

□ 분석 대상지

- 시뮬레이션 분석 대상지는 경기도 성남시 분당구의 특정 구간을 선택하였다. 분석 구간은 다음의 세 가지 기준에 따라 선정하였다.
 - 다양한 도로(차로수 기준)를 모델링 할 수 있는 구간
 - 분당구의 교통흐름을 대표할 수 있는 구간
 - 연구 기간 내 자료 조사와 모델링이 가능한 공간적 넓이
- 이상의 세 가지 기준에 따라 [요약 그림 1]과 같이 13개 교차로, 52개 구간을 분석 대상 지역으로 선정하였다.



[요약 그림 1] 분석 대상 구간 현황

□ 교차로 및 차로 구성

- 시뮬레이션 대상 구간에 포함된 13개 교차로는 3지 교차로 1개와 4지 교차로 12개 등 총 13개의 교차로로 구성되어 있다. 도로 차로수는 편도 1차로부터 5차로까지 분포되어 있다. 차로별 구성 비율은 편도 5차로 이상이 1개 구간, 편도 4차로 이상이 15개 구간, 편도 3차로 이상이 5개 구간으로 전체 52개 구간 중 약 41%가 편도 3차로 이상으로 구성되어 있다. 도로 네트워크의 총 길이는 4.5km이다.
- 도로를 면적 기준으로 분류하면 대상 도로의 전체 면적 대비 편도 4차로 구간이 가장 많은 49%이다. 편도 1차로, 편도 2차로, 편도 3차로의 면적은 각각 18%, 14%, 15%로 비슷하였고, 편도 5차로 구간은 4%이다.

[요약 표 1] 도로 네트워크의 차로수별 면적

구분	차로수 (개)	비율 (%)	면적 (㎡)	비율 (%)
편도 5차로	1	2%	4,725	4%
편도 4차로	15	29%	60,480	49%
편도 3차로	5	10%	18,480	15%
편도 2차로	15	29%	16,835	14%
편도 1차로	16	31%	22,155	18%
합계	52	100%	122,675	100%

□ 교통량 조사 및 신호현시 조사

- 교통량 조사는 52개 구간 전 구간을 대상으로 진행하였다. 오전 첨두시간 (7~9시)의 교통량을 측정하였다. 조사 방식은 13개 교차로에 카메라를 설치하여 2시간 동안 녹화를 진행하고, 녹화영상을 활용하여 교차로 통과 교통량을 수집하였다. 조사는 7월 25일부터 27일까지 3일간 진행하였다. 현실성 있는 시뮬레이션 구축을 위해서 여름철 연휴 및 장마 기간을 피해 조사를 진행하였다.
- 신호현시 자료는 직접 조사한 자료와 분당시청에서 제공받은 신호자료를 사용하였다.

□ 시뮬레이션 환경 구축

- 미시적 시뮬레이션 프로그램인 독일 PTV사의 VISSIM을 활용하였다. 대상 지역의 교통량, 기하구조, 신호현시 등의 수집된 자료를 활용하여 도로 네트워크를 구축하였고, 자율주행자동차 관련 파라미터는 선행연구를 참고하였다.
- 차량추종모형은 Wiedemann 74를 사용하였다. Wiedemann 74는 차두시간, 정지거리, 안전거리 등 자율주행자동차가 도로 용량 개선 효과에 영향을 미칠 것으로 예상되는 파라미터들의 변수값 조정이 가능하다.
- 자율주행자동차의 수준은 미국 자동차공학회(SAE)에서 제시한 자율주행자동차 단계 중 레벨 4를 적용하였다. VISSIM에 설정한 자율주행자동차 관련 제어 변수(파라미터) 값은 선행 연구를 참고하여 [요약 표 2]와 같이 설정하였다.

[요약 표 2] 자율주행자동차와 일반차량의 차량 제어변수(파라미터) 값

제어 변수			차량 유형	
			일반	자율주행
Car-following model (Wiedemann 74)	Standstill distance (m)		1.5	0.5
	Headway time (s)		0.9±0.2	0.5
Lane change	Min. headway (m)		0.5	0.2
	Safety distance reduction factor(%)		90	30
Driver Characteristics	Look ahead distance (m)	Min.	0	0
		Max.	250	500
	Desired Speed (km/h)	Lower bound	48	50
		Upper bound	58	50

□ 분석 내용 및 효과척도

○ 분석 내용은 다음과 같다.

- 분석 1 : 자율주행자동차의 혼입 비율에 따른 도로 네트워크 상태 변화
 - 자율주행자동차 혼입 비율이 교통흐름에 미치는 영향 분석
 - 자율주행자동차 혼입 비율을 0~100%까지 20% 단위로 증가
 - 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체 변화 분석 및 포화교통류율 산출
- 분석 2 : 자율주행자동차의 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 도로 네트워크 상태 변화
 - 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가가 교통흐름에 미치는 영향 분석
 - 자율주행자동차 혼입 비율을 0~100%까지 20% 단위로 증가
 - 자율주행자동차 혼입 비율마다 통행량을 0~100%까지 20% 단위 증가
 - 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체의 변화 분석
- 분석 3 : 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차로 감소 면적 분석
 - 자율주행자동차 혼입 비율이 50%와 100%인 상태만 고려
 - 혼입 비율이 0%일 때 효과척도인 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체를 도출하여 기준 값으로 설정
 - 혼입 비율 50%와 100% 각각에 대해서 서비스 수준을 산출하고, 서비스 수준이 높고, 차로수가 많은 구간부터 단계적으로 차로를 감소시켜 효과척도 산출
- 효과척도는 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체로 선정하였다. 시뮬레이션 상에서 효과척도를 측정하기 위하여 각각의 구간마다 교차로로 진입하는 위치와 교차로에서 진출하는 위치에 가상의 검자기를 설치하여 측정하였다. 효과척도의 값은 시뮬레이션 분석 시 Random Seed를 달리하여 5회 반복 수행한 평균값을 활용하였다.

2.2 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 도로 네트워크 변화 분석 결과

□ 도로의 교통흐름 상태 분석 결과

- 자율주행자동차의 혼입 비율이 변함에 따라 네트워크의 상태 분석 결과는 [요약 표 3]과 같다. 혼입 비율 0%인 현재는 네트워크의 평균 통행시간이 220.42초, 평균 통행속도는 22.79km/h, 평균 지체는 124.61초로 나타났다.
- 반면 혼입 비율이 100%일 때 네트워크 평균 통행시간이 195.3초, 평균 통행속도는 25.68km/h, 평균 지체는 94.34초로 나타났다. 혼입 비율이 100%일 때 0%에 비해 평균 통행시간과 평균 지체는 각각 약 13%, 32% 감소하고, 평균 통행속도는 약 13% 증가하였다.
- 분석결과를 활용하여 완전자율주행자동차 시대가 되었을 때의 이익을 산정한 결과, 분석 대상 네트워크 기준으로 시뮬레이션 분석시간(1시간) 동안 약 3,610,000원의 이익을 얻을 수 있을 것으로 산정되었다. 분석시간 동안의 이익을 산정하기 위하여 자율주행자동차의 통행시간가치는 고용석 외(2019)의 통행시간 가치 추정결과인 36,744원/시간(완전자율기준)을 활용하였다.

[요약 표 3] 자율주행자동차 혼입 비율별 네트워크 효과척도 분석 결과

자율주행자동차 혼입 비율 (%)	평균 통행시간 (초)	평균 통행속도 (km/h)	평균 지체 (초)
0	220.42	22.79	124.61
20	218.87	22.93	122.18
40	211.11	23.73	113.39
60	202.51	24.76	103.65
80	196.79	25.49	96.80
100	195.30	25.68	94.34

□ 도로 용량 분석 결과

- 포화교통류율은 자율주행자동차의 혼입 비율이 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 것을 보여주었다. 혼입 비율이 0%일 때의 포화 차두시간은 1.65초이며,

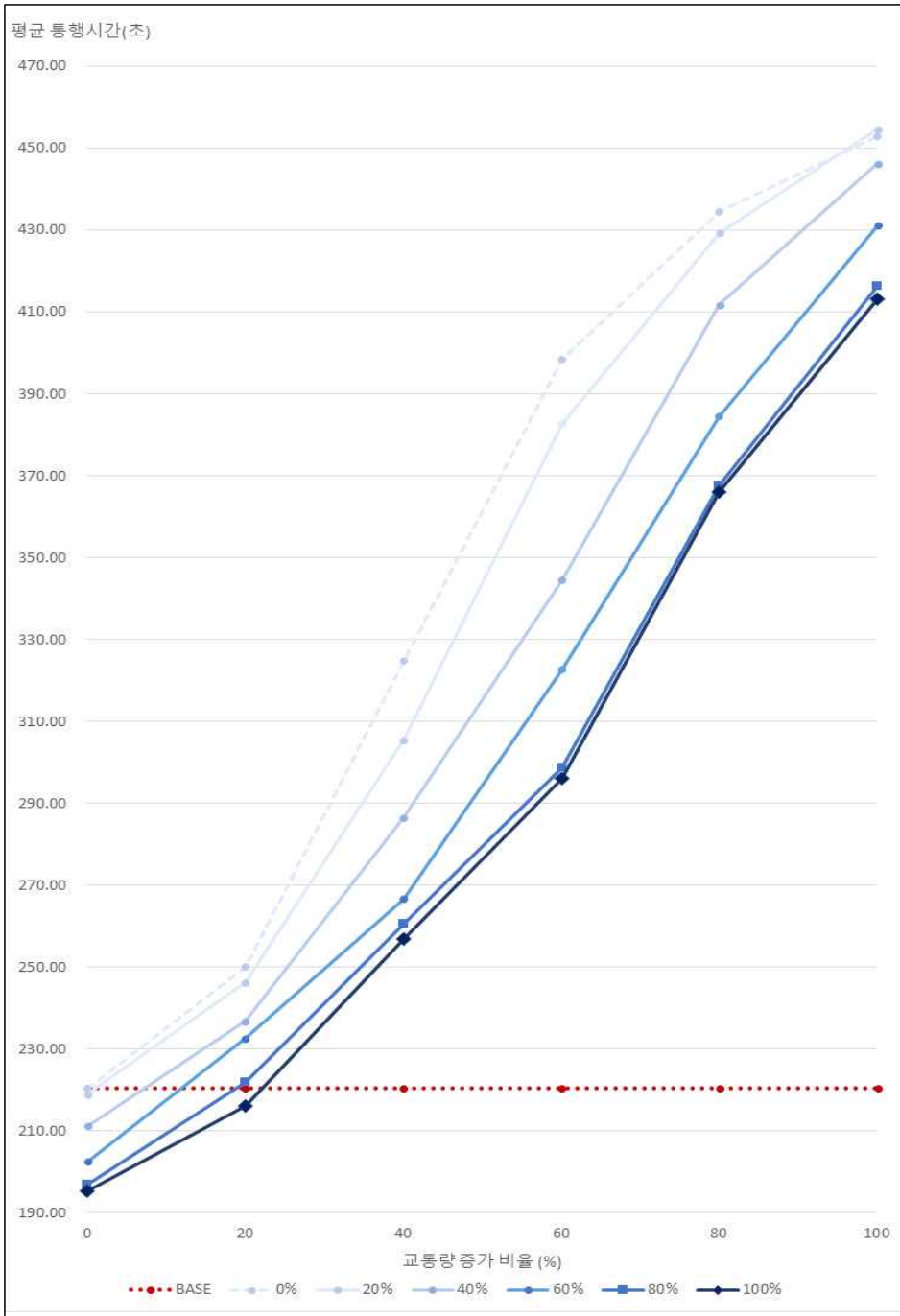
포화교통류율은 시간당 2,183대이다. 혼입 비율이 100%일 때는 포화 차두 시간이 1.24초이며, 포화교통류율은 시간당 2,901대이다. 혼입 비율 100%일 때 포화교통류율은 혼입 비율 0%일 때 대비 약 33% 증가하였다. 포화교통류율 분석에서도 역시 혼입 비율이 20%일 때 누적 증가율은 1%에 불과하였다. 그러나 혼입 비율이 80%에서 100%로 증가할 때는 누적 증가율이 11%로 타 구간과 비교하면 가장 많이 증가하였다.

[요약 표 4] 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 포화교통류율

자율주행자동차 혼입 비율 (%)	포화 차두시간 (초)	포화교통류율 (대/시)	누적 증가율 (%)
0	1.65	2,183	-
20	1.63	2,214	1
40	1.48	2,432	11
60	1.39	2,592	19
80	1.35	2,659	22
100	1.24	2,901	33

2.3 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 도로 네트워크 변화 분석 결과

- 자율주행자동차 혼입 비율이 0%이면서 교통량 증가가 없는 상황을 BASE로 설정하였다. BASE의 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체 값을 기준값으로 설정하였으며, 각 시나리오 별 효과척도를 BASE의 효과척도와 비교하여 네트워크 교통량 증가에 따른 수용성을 확인하였다.
- 분석 결과, 혼입 비율 20%, 40%, 60%일 때는 교통량이 20% 이상 증가 시 네트워크의 각 지표가 BASE의 값을 넘어서는 결과가 나타났다. 혼입 비율 80%일 때는 교통량 20%일 때 평균 통행시간은 약 1.34초 초과하였으나 평균 지체는 1.58초 감소하였다. 따라서 교통량 20% 증가 수준까지는 네트워크 내에서 수용 가능하였다는 것을 알 수 있다. 혼입 비율 100%일 때 역시 마찬가지로 교통량 20% 증가 수준까지는 네트워크 내에서 수용 가능한 것으로 나타났다.



[요약 그림 2] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 통행시간

2.4 차로 감소 효과 분석 결과

□ 자율주행자동차 혼입 비율 50%

- 혼입 비율 50%에서는 서비스수준이 C 이상이면서 편도 2차로 이상인 구간이 총 22개였다. 시뮬레이션에서는 22개의 대상 구간에 대해 차로를 줄인 후 다시 시뮬레이션을 수행하여 효과척도를 도출하고 BASE 값과 비교하여 감소 여부를 판단하였다. [요약 표 5]는 자율주행자동차 혼입비율 50% 일 때 차로 감소가 가능한 도로 구간을 정리하여 보여주고 있다. 분석 결과 총 11개 차로를 감소할 수 있었으며, 감소 가능한 면적은 12,320㎡로 분석되었다. 이 결과는 분석 대상 도로 총면적 122,675㎡의 10%에 해당한다.

[요약 표 5] 자율주행자동차 혼입비율 50%에서 차로 감소 후 네트워크 상태 결과

구분	네트워크 평균 통행시간 (초)	네트워크 평균 통행속도 (km/h)	네트워크 평균 지체 (초)	누적 감소 차로수 (차로)	누적 감소 면적 (㎡)	총 면적대비 감소율
Road diet 1	206.90	24.18	108.81	1	683	0.6%
Road diet 2	206.86	24.25	108.59	2	1,628	1.3%
Road diet 3	207.75	24.02	109.94	3	3,098	2.5%
Road diet 4	207.73	24.09	109.62	4	4,008	3.3%
Road diet 5	209.46	23.90	111.25	5	6,528	5.3%
Road diet 6	209.96	23.78	112.13	6	7,438	6.1%
Road diet 7	210.31	23.78	112.17	7	8,120	6.6%
Road diet 8	211.54	23.60	113.59	8	9,030	7.4%
Road diet 9	211.64	23.60	113.71	9	10,290	8.4%
Road diet 10	213.26	23.45	115.27	10	10,850	8.8%
Road diet 11	215.94	23.13	118.07	11	12,320	10.0%

※ 주 : BASE의 효과척도 값 (평균 통행시간 220.42초, 평균 통행속도 22.79km/h, 평균 지체 124.61초)

□ 자율주행자동차 혼입 비율 100%

- 혼입 비율 100%에서는 서비스수준이 C 이상이면서 편도 2차로 이상인 구간은 총 25개였다. 25개의 대상 구간에 대해 차선을 줄인 후 다시 시뮬레이션을 수행하여 효과척도를 도출하고 BASE 값과 비교하여 감소 여부를 판단하였다. [요약 표 6]은 혼입비율 100% 일 때 차로 감소가 가능한 도로 구간을 보여주고 있다. 분석 결과 총 12개 차로를 감소할 수 있었으며, 감소 가능한 면적은 13,230㎡로 분석되었다. 이 결과는 대상 도로 면적의 11%에 해당한다.

[요약 표 6] 자율주행자동차 혼입 비율 100%에서 차로 감소 후 네트워크 상태 결과

구분	네트워크 평균 통행시간 (초)	네트워크 평균 통행속도 (km/h)	네트워크 평균 지체 (초)	누적 감소 차로수 (차로)	누적 감소 면적 (㎡)	총 면적대비 감소율
Road diet 1	197.42	25.32	96.76	1	683	0.6%
Road diet 2	197.85	25.23	97.28	2	1,628	1.3%
Road diet 3	198.67	25.09	98.26	3	3,098	2.5%
Road diet 4	198.65	25.09	98.28	4	4,008	3.3%
Road diet 5	199.89	25.00	99.23	5	4,918	4.0%
Road diet 6	201.38	24.74	101.02	6	5,600	4.6%
Road diet 7	201.69	24.72	101.25	7	6,510	5.3%
Road diet 8	213.82	23.07	114.45	8	7,420	6.0%
Road diet 9	216.75	22.80	117.23	9	8,680	7.1%
Road diet 10	216.98	22.76	117.53	10	9,240	7.5%
Road diet 11	217.72	22.68	118.22	11	11,760	9.6%
Road diet 12	220.00	22.45	120.54	12	13,230	10.8%

※ 주 : BASE의 효과척도 값 (평균 통행시간 220.42초, 평균 통행속도 22.79km/h, 평균 지체 124.61초)

3. 사례 분석을 통한 주차장 및 도로 면적 감소 효과 분석

3.1 분석 개요

□ 사례분석 대상

- 주차장 및 도로 면적 감소 효과를 분석하기 위한 공간적 범위는 시뮬레이션 대상지를 확대하여 경기도 성남시 분당구 전체로 하였다.
- 성남시 분당구 대부분은 경부고속도로를 축으로 기억자(ㄱ)형으로 개발되어 있다. 분당구의 인구는 2020년 10월 기준 48.3만명¹⁾이며, 총 면적은 69.7km²이다. 이중 개발 된 시가화 지역 면적²⁾은 44.1%인 30.7km²이다. 건축물의 대지면적은 23.1km²(33.2%), 건축물 연면적은 42.1km²이다. 본 연구의 관심 대상인 도로 면적은 7.6km²(10.9%)이며, 분당구의 도로율은 24.7%이다.

□ 주차장 및 도로 현황

- 분당구의 주차장 면수는 노상주차장 702면, 노외주차장 5,664면, 부설주차장 283,854면으로 총 290,200면이다. 차량 등록대수는 196,665대이며, 성남시 전체의 52.6%이다. 이 중 자가용이 93.5%로 가장 많다. 주차장 확보율은 147.6%이다.

3.2 주차장 단위 면적 분석

- 부설주차장 단위 면적을 분석하기 위하여 공동주택, 업무시설, 병원, 숙박시설, 문화 및 집회시설 등의 교통영향평가 보고서를 활용하여 [요약 표 7]과 같이 대지면적, 연면적, 주차장 면적 등의 정보를 수집하였다. 분석 결과 공동주택은 주차면 1면당 차지하는 면적이 평균 37.93m² 수준으로 나타났고, 업무시설은 평균 30.3m² 수준이었으며, 의료시설 등 기타 시설은 24.2m² 수준으로 분석되었다.

1) 성남시 홈페이지, 성남통계, <https://www.seongnam.go.kr/stat/>

2) 주거, 상업, 공업 지역의 합

[요약 표 7] 건축물 용도별 주차장 단위 면적

구분	지역	주차장면적 (㎡)			주차장면수 (면)			대지면적 (㎡)	1 주차면당 차지하는 면적 (㎡)
		지상	지하	합계	지상	지하	합계		
공동주택 A	서울	-	45,572	45,572	-	1,240	1,240	49,018	36.75
공동주택 B	서울	-	26,227	26,227	-	750	750	33,155	34.97
공동주택 C	경기	-	50,574	50,574	-	1,303	1,303	29,142	38.81
공동주택 D	경기	-	35,509	35,509	-	893	893	11,528	39.76
공동주택 E	경기	-	46,255	46,255	-	1,174	1,174	32,270	39.40
공동주택 평균	-	-	-	-	-	-	-	-	37.9
업무시설 A	대전	1,290	5,422	6,712	45	189	234	12,323	28.68
업무시설 B	대전	-	7,987	7,987	-	235	235	2,816	33.99
업무시설 C	대전	-	7,935	7,935	-	230	230	2,783	34.50
업무시설 D	서울	-	1,847	1,847	-	58	58	4,236	31.84
업무시설 평균	-	-	-	-	-	-	-	-	30.3
병원 A	서울	5,382	20,708	26,090	238	917	1,155	67,888	22.59
병원 B	대전	-	7,517	7,517	-	160	160	2,927	46.98
생활숙박시설	대전	491	11,518	12,009	7	283	290	2,854	41.41
문화 및 집회시설	충남	8,927	-	8,927	347	-	347	324,638	25.73
기타시설 평균	-	-	-	-	-	-	-	-	24.2

3.3 자율주행자동차에 의한 주차장 감소 효과

□ 주차장 감소에 대한 선행 연구 및 주차장 실질면적

- 자율주행자동차에 의한 주차장 감소 효과에 대해 앞서 살펴보았던 선행 연구들을 기반으로 간략하게 [요약 표 8]에 정리하였다. 모든 자동차가 자율주행자동차인 시대를 가정하고, 공유자율주행자동차의 점유비율에 따라 주차장 감소비율을 제시하고 있다. [요약 표 9]는 주차면 1면 당 실질 면적을 보여주고 있다.

[요약 표 8] 완전자율주행자동차시대의 공유자율주행자동차 비율 변화에 따른 주차면 감소비율 추정

공유자율주행자동차 점유 비율	주차장 감소 비율
0%	10%
20%	14%
40%	28%
100%	66% ~ 93%

[요약 표 9] 부설주차장 1주차면당 실질면적(실질단위면적)(㎡)

주거	업무/상업	기타
37.9	30.3	24.2

□ 분당구 분석 결과

- 분당구에서 부설주차장으로 사용되는 건물 연면적은 1,023만㎡이다. 공유자율주행자동차의 비율이 100%라고 가정했을 때, 감소되는 주차장 면적(연면적)은 최소 675만㎡ (16%), 최대 951만㎡(23%)이다. 감소되는 주차장 면적은 분당구 전체 건물 연면적의 16~23%에 해당하는 공간을 주차장에서 다른 용도로 활용할 수 있다는 의미이다.

[요약 표 10] 공유자율주행자동차 점유율 증가에 따른 감소 주차장 면적과 연면적 기준 감소비율

공유 자율주행자동차 점유율	주차장 감소율 (%)	용도별 주차장 감소 면적 (㎡)				주차장 면적 (㎡)
		주거	업무/상업	기타	합계	
-	현재기준	0	0	0	0	10,230,486
0%	10	673,863	232,691	116,495	1,023,049	9,207,437
20%	14	943,408	325,767	163,094	1,432,268	8,798,218
40%	28	1,886,815	651,534	326,187	2,864,536	7,365,950
100%	66	4,447,493	1,535,758	768,870	6,752,121	3,478,365
100%	93	6,266,922	2,164,023	1,083,407	9,514,352	716,134

3.4 분당구의 도로 감소 효과

□ 시뮬레이션 결과 적용

- 시뮬레이션 분석 결과, 현재의 통행 서비스 수준을 유지하면서 감소 가능한 도로 면적이 약 18.9~20.3% 정도로 분석되었다. 도로 면적을 20% 정도 감소할 수 있다는 것은 결국 도로 용량이 20% 정도 늘었다는 의미이다. 이는 선행 연구의 도로 용량 20%와 비슷하다. 따라서 분당구의 도로 면적 감소량 추정을 위해 본 연구의 시뮬레이션 결과를 사용하였다.

[요약 표 11] 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서 도로 감소비율

자율주행자동차 혼입비율	도로 면적 (m ²)		감소 면적 (m ²)	감소비율 (%)
50%	편도 4차로 이상	65,205	12,320	18.9
	편도 3차로 이하	57,470	-	-
100%	편도 4차로 이상	65,205	13,230	20.3
	편도 3차로 이하	57,470	-	-

□ 도로 감소 효과

- 도로의 감소 면적은 자율주행자동차의 혼입 비율이 100%일 때 30.2만m²로 시가화 지역 면적(307.2만m²) 대비 약 9.8%였다.

[요약 표 12] 자율주행자동차 혼입비율에 따른 감소 도로 면적

자율주행자동차 혼입비율	도로 면적 (m ²)		적용 감소율 (%) ⁺	감소 면적 (m ²)	시가화 지역 면적 대비 감소 비율 (%)
50%	왕복 7차로 이상	1,209,372	18.9	281,838	9.2
	왕복 6차로 이하	6,078,277		-	-
100%	왕복 7차로 이상	1,188,494	20.3	302,716	9.8
	왕복 6차로 이하	6,078,277		-	-

+ 감소율은 왕복 7차로 이상 도로에만 적용

차 례

제1장 서론	3
1. 연구의 배경 및 목적	3
1.1. 연구의 배경	3
1.2. 연구 주요 내용	5
2. 연구의 범위	7
3. 연구 수행 방법	8
 제2장 자율주행자동차 정의 및 전망	 15
1. 자율주행자동차 정의와 기술 개발 단계	15
1.1. 자율주행자동차 정의 및 기술 구성	15
1.2. 자율주행자동차 기술 개발 단계	16
2. 국내 자율주행자동차법 및 국내외 개발 동향	19
2.1. 자율주행자동차법과 2030산업발전전략	19
2.2. 국내외 자율주행자동차 개발 동향	27
3. 자율주행자동차 상용화 전망	33
 제3장 선행 연구 고찰	 37
1. 선행 연구의 접근 방식	37
2. 통행행태에 관한 연구	39
2.1. 주행거리 관련 연구	39
2.2. 교통수단 및 이용 관련 연구	40
3. 토지이용 및 공간구조에 관한 연구	41
3.1. 주차장 관련 연구	41

3.2. 도로 용량 관련 연구	43
3.3. 도시 공간 관련 연구	44
3.4. 주거지와 기업의 입지 관련 연구	46
4. 시사점	47

제4장 시뮬레이션을 활용한 도로 용량 및 차로 감소 효과 분석 59

1. 시뮬레이션 분석 개요	59
1.1. 시뮬레이션 분석 목적	59
1.2. 분석 대상지 및 자료 수집	60
2. 시뮬레이션 환경 구축	68
2.1. 시뮬레이션 선정	68
2.2. 차량운행 모델링을 위한 모형과 파라미터 설정	70
2.3. 시뮬레이션 수행	72
2.4. 분석 방법	73
3. 시뮬레이션 분석 결과	76
3.1. 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 도로 네트워크 변화	76
3.2. 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 도로 네트워크 변화	79
3.3. 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차로 감소 가능성 분석	85

제5장 사례 분석을 통한 주차장 및 도로 면적 감소 효과 분석 97

1. 사례 분석 대상 개요	97
1.1. 성남시 분당구의 토지 및 건축물 면적 현황	97
1.2. 성남시 분당구 주차장 현황	98
2. 부설주차장 면적 감소 효과 분석	100
2.1. 부설주차장 단위 면적 분석	100
2.2. 자율주행자동차에 의한 주차장 감소 효과	102
2.3. 자율주행자동차 도입에 따른 주차면 감소 예측	102

3. 자율주행자동차에 의한 도로 감소 효과 분석	105
3.1. 선행 연구에 따른 도로 용량 변화	105
3.2. 교통 시뮬레이션에 따른 도로 용량 변화	105
3.3. 도로 면적 감소 예측	106
 제6장 결론	 111
 참 고 문 헌	 113
 부 록 (주차장 및 도로 감소에 따른 도시 공간의 변화 전망)	 125

표 차례

[표 1-1] 주차장 관련 선행 연구 목록	8
[표 1-2] 도로 용량 관련 선행 연구 목록	9
[표 1-3] 실증 분석을 위한 활용 GIS 데이터 목록	10
[표 2-1] 2020년 선정 자율주행자동차 시범운행지구 현황	32
[표 2-2] 자율주행자동차의 시장 전망	33
[표 3-1] 자율주행자동차와 관련한 주요 선행 연구 요약	48
[표 4-1] 분석 대상 지역의 교차로 및 차로 구성	62
[표 4-2] 도로 네트워크의 차로수별 면적	64
[표 4-3] 교통량 조사 개요	64
[표 4-4] TOD 신호 운영 현황	66
[표 4-5] 교통 시뮬레이션 모형 비교	69
[표 4-6] 자율주행자동차와 일반차량의 차량 제어변수	71
[표 4-7] 자율주행자동차 혼입 비율별 네트워크 효과척도 분석 결과	76
[표 4-8] 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 포화교통류율	78
[표 4-9] 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 네트워크 효과척도 분석 결과	80
[표 4-10] 도로 링크별 서비스수준 현황	85
[표 4-11] 자율주행자동차 혼입비율 50%에서 차로 감소 후 네트워크 상태 결과	90
[표 4-12] 자율주행자동차 혼입 비율 100%에서 차로 감소 후 네트워크 상태 결과	92
[표 5-1] 성남시 분당구의 시가화 지역의 토지 및 건축물 면적	98
[표 5-2] 성남시 차량등록대수와 주차면 현황	99
[표 5-3] 건축물 용도별 주차장 단위 면적	101

[표 5-4] 완전자율주행자동차시대의 공유자율주행자동차 비율 변화에 따른 주차면 감소비율 추정	102
[표 5-5] 부설주차장 1주차면당 실질면적	103
[표 5-6] 분당구 부설주차장의 유형별 추정 주차장 면적	103
[표 5-7] 공유자율주행자동차 점유율 증가에 따른 주차장 면적과 연면적 기준 감소 비율	104
[표 5-8] 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서 도로 감소 비율	106
[표 5-9] 분당구의 도로 차로수 별 면적	107
[표 5-10] 자율주행자동차 혼입비율에 따른 감소 도로 면적	108



그림 차례

[그림 1-1] 연구 수행 절차	11
[그림 2-1] 자율주행자동차 기술 구성	16
[그림 2-2] SAE의 자율주행기술 단계	17
[그림 2-3] 미래자동차 산업 발전 전략	26
[그림 2-4] K-City 조감도	29
[그림 2-5] 서울시 자율주행 실증 도로	30
[그림 2-6] 울산시 자율주행자동차 기반 및 기술 개발	31
[그림 3-1] 교통수단에 따른 도시 규모	45
[그림 4-1] 분석 대상 구간 현황	61
[그림 4-2] 교통량 조사 위치 (예시)	65
[그림 4-3] VISSIM 교차로 시뮬레이션 수행 (예시)	72
[그림 4-4] 시뮬레이션 수행 결과 (예시)	72
[그림 4-5] 분석 방법	73
[그림 4-6] 차로 감소 분석과정	75
[그림 4-7] 자율주행자동차 혼입 비율별 네트워크 효과척도 분석 결과 ...	77
[그림 4-8] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 통행시간	82
[그림 4-9] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 통행속도	83
[그림 4-10] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 지체	84
[그림 4-11] 자율주행자동차 혼입 비율 0%에서의 서비스수준	87
[그림 4-12] 자율주행자동차 혼입 비율 50%에서의 서비스수준	88
[그림 4-13] 자율주행자동차 혼입 비율 100%에서의 서비스수준	89

[그림 4-14] 자율주행자동차 혼입 비율 50% 차로 감소 결과	91
[그림 4-15] 자율주행자동차 혼입 비율 100% 차로 감소 결과	93
[그림 5-1] 분당구 시가화 지역 분포	98
[그림 5-2] 공유자율주행자동차 비율 증가에 따른 주차장 면적 변화 ...	104
[그림 5-3] 분당구 도로 네트워크	107

제1장 서론

LAND
INDUSTRY
INSTITUTE

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1.1. 연구의 배경

2019년 10월 16일, 우리나라의 산업통상자원부는 ‘미래자동차 산업 발전 전략’을 발표하였다. 전기자동차, 자율주행자동차, 공유자동차를 포함하는 계획으로 2027년까지 자율주행자동차를 상용화하고, 전기자동차 비율을 33%까지 올리겠다고 하였다. 이 전략의 배경에는 자동차 산업의 성장세 하락, 강도 높은 환경 규제 정책, 신생 전기자동차 기업의 약진, 모빌리티 및 IT 기업의 자율주행자동차 개발 참여, 기존 자동차 완성업체를 뛰어넘는 공유자동차 기업의 가치 등 국내외 자동차 산업 여건의 변화가 급격하게 진행되고 있기 때문이다.

실제로 전기자동차, 공유자동차, 자율주행자동차가 자동차 산업의 변화를 주도할 것이라는 의견에는 이견이 없다. 이미 제조업 위주의 기존 내연기관 자동차의 지위는 흔들리고 있기 때문이다. 게다가 전기+공유+자율주행 자동차들은 서로 결합하면서 기존 자동차로 인해 파생된 도시의 통증을 일제히 사라지게 할 해결책으로 떠오르고 있다.

물론 그 중심에는 자율주행자동차가 있다. 자율주행자동차(AV, Autonomous Vehicle)는 인간보다 운전능력이 뛰어나 정교한 주행이 가능하다. 신호를 위반하는 일도 없고 과속하는 일도 없다. 자동차와 자동차가 통신으로 빠르게 연결되면서 앞차와의 간격을 크게 줄이고, 출발 지연으로 인한 시간손실을 줄인다. 다시 말해 자율주행자동차는 인간이 유발하는 교통사고를 없애며, 도로 정체도 크게 줄일 것이라는 얘기다.

자율주행자동차는 전기자동차로 구성될 것이다. 인공지능과 제어 프로그램 등 복잡한 소프트웨어가 탑재된 자동차에게 전기자동차가 보다 더 안정감 있기 때문이다. 전기로 구동되는 자율주행자동차는 대기오염 문제를 상당 부분 해소할 것임에 틀림없다.

자율주행자동차는 공유자동차와 밀접하게 결합할 것이다. 우버와 같은 공유자동차의 운영비용 중 가장 크게 차지하는 것이 운전자에게 지급하는 인건비인데, 자율주행은 이 운전자 비용을 제거해 주기 때문이다. 운전자가 없는 공유자동차는 일반 택시보다 낮은 수준으로 요금을 낮출 수 있고, 개인 승용차와 같은 편리함까지 누릴 수 있게 할 것이다. 또한, 공유로 움직이는 자율주행자동차는 지금보다 훨씬 더 높은 비율로 교통수단을 점유하고, 통행 소유를 크게 줄일 것이다. 게다가 정교한 주행 능력에 통행수요까지 줄이므로 우리가 보아 왔던 교통정체는 크게 사라질 것이다.

이뿐만이 아니다. 자율주행자동차는 교통수단 간 연결에 소요되는 시간과 이동 거리를 크게 줄여 대중교통의 편리성을 크게 개선할 것이다. 도로의 통행 처리 용량 증가와 주차장의 감소는 도시 내 잉여공간을 생산하고, 이를 통해 녹지공간과 같은 오픈 스페이스 공간을 충분히 확보할 수 있게 할 것이다.

자율주행자동차는 LH가 개발하는 도시 공간구조에도 큰 변화를 줄 것이다. 그 중 주차장 감소와 도로 용량 증가로 인한 도로폭의 감소는 동일 인구 대비 적은 사업 면적으로도 가능한 공간을 제공할 것이다. 도시 내 주차장이 줄고, 도로가 줄면 공사비가 절감되며 다른 친환경 설비에 더 많은 투자도 가능해질 것이다. LH의 도시 개발은 기획부터 준공까지 10년 이상이 소요되는 장기 프로젝트이다. 따라서 자율주행자동차 시대의 주차장과 도로의 변화를 추정하고 명확히 이해하는 것은 미래 도시계획에 있어 매우 중요하다고 판단된다.

이에 본 연구는 자율주행자동차가 일상화될 것으로 예상되는 2030년 이후의 도시 공간구조의 변화를 이해하는데 필요한 주차장 및 도로 감소 효과를 이해하고 계량화하는 것을 목적으로 수행하였다.

1.2. 연구 주요 내용

(1) 자율주행자동차의 정의 및 전망

- 자율주행자동차의 정의 및 기술 구성
- 자율주행자동차 기술 개발 단계
- 자율주행자동차법과 2030 산업발전전략
- 국내외 자율주행자동차 개발 동향
- 자율주행자동차 상용화 전망

(2) 선행 연구 고찰

- 통행행태에 관한 연구
 - 주행거리 관련 연구
 - 교통수단 및 이동 관련 연구
- 토지이용 및 공간구조에 관한 연구
 - 주차장 관련 연구
 - 도로 용량 관련 연구
 - 도시 공간 관련 연구
 - 주거지와 기업의 입지 관련 연구

(3) 시뮬레이션을 활용한 도로 용량 및 차로 감소 분석

- 시뮬레이션 분석 개요
- 시뮬레이션 환경 구축
- 시뮬레이션 분석 및 결과 도출
 - 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 도로 네트워크 분석
 - 자율주행자동차 혼입 및 통행량 증가에 따른 도로 네트워크 분석
 - 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차로 감소 분석

(4) 사례 분석을 통한 주차장 및 도로 면적의 감소 효과 분석

- 부설주차장의 단위 면적 분석 및 감소 효과
- 도로 용량 증가 효과
- 사례 지역의 주차장 및 도로 면적 감소 효과

(5) 주차장 및 도로 감소에 따른 도시 공간의 변화 전망

- 도시 공간구조
- 도로 교통
- 건축물
- 도시 경관

2. 연구의 범위

1) 시간적 범위

글로벌 시장 조사 기관들은 완전자율주행자동차(이하, 자율주행자동차)의 판매 시기는 2025년으로 전망하고 있다. 또한, 자율주행자동차의 점유율은 2035년 10%, 2050년 50%, 2070년을 100%가 될 것이라고 예상하고 있다. 따라서 본 연구는 자율주행자동차의 점유율이 0%인 2020년부터 100%에 이르는 2070년까지를 예측 분석의 시간적 범위로 하고 있다.

2) 공간적 범위

연구의 분석 대상이 되는 공간적 범위는 1기 신도시인 성남시 분당구를 대상으로 하였다. 분석에 필요한 자료 수집이 쉽고 주차장과 도로 면적 감소에 따른 변화를 파악하는데 쉽기 때문이다.

시뮬레이션 모델링을 위한 공간은 분당구 내에서 4~8차로까지 다양한 차로를 포함하는 도로 구역으로 정하였다.

시뮬레이션 분석과 문헌조사를 기반으로 한 실증 분석은 경기도 성남시 분당구를 대상으로 하였다. 주차장 부문은 분당구의 노상, 노외, 부설주차장을 대상으로 하였다. 도로 부문은 분당구 내 모든 도로를 분석 대상으로 설정하였다.

3) 내용적 범위

현행 주차면 단위 면적은 실제 자료를 통해 산출하였다. 다만, 도로 용량 변화에 관해서는 선행 연구 결과와 함께 마이크로 교통 시뮬레이션인 VISSIM을 활용하여 분석하였다. 분당 내 13개 교차로를 대상으로 하였으며, 교통량 조사를 수행하여 실제 교통과 유사하도록 모사하였다.

본 연구에서 제시하고자 하는 공간구조 변화는 주차장과 도로를 중심으로 하며, 도로 단면, 건축물(아파트, 주택, 상업 및 업무용 빌딩 등), 주차장 등에 대해 고려

가능한 수준에서 제시하였다. 다만, 보고서의 논리적 일관성을 위해 공간구조 변화에 대한 전망은 부록에 담았다. 또한, 본 연구는 도로 공간구조에 영향을 미칠 주차장과 도로 부문에 한정하고 있어서 교통체계의 변화까지는 고려하지 않았다.

본 연구의 시간적 범위가 2070년까지로 미래의 관련 법체계 변화를 예측하기는 어려워 자율주행자동차와 관련된 법제도 부분에 대해서는 다루지 않았다.

3. 연구 수행 방법

1) 주차면 감소 및 주차면 단위 면적의 변화 분석

국내 · 외 관련 선행 연구들의 결과를 참조하여 주차면 감소 및 주차면 단위 면적 변화 분석에 필요한 요소를 검토하였다. 본 연구에서 검토한 관련 연구 목록 중 일부를 [표 1-1]에 제시하였다.

[표 1-1] 주차장 관련 선행 연구 목록

번호	주차장 관련 선행 연구 목록
1	Luis, M.(2015), Urban mobility system upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic, International Transport Forum report.
2	ITF (International Transport Forum)(2015), Urban mobility system. Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic, Corporate Partnership Board Report. OECD.
3	Bangemann, C.(2017), Simulation einer urbanen Mobilitätslösung basierend auf autonom fahrenden ERobotaxen in München, TU München: Berylls Strategy Advisors.
4	Kornhauser, A. L.(2013), Smart driving cars: Transit opportunity of NHTSA level 4 driverless vehicles, Paper presented at the TRB automated vehicle workshop.
5	Spieser, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D., Pavone, M.(2014), Toward a systemic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in Singapore, In G. Meyer, S. Beiker (Eds.), Road vehicle automation. Lecture notes in mobility (pp. 229-245).
6	Zhang, W., Guhathakurta, S., Khalil, E. B.(2018), The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 90, pp.156-165.
7	Liu, J., Kockelman, K. M., Boesch, P. M., Ciari, F.(2017), Tracking a system of shared autonomous vehicles across the Austin, Texas network using agent-based simulation, Transportation.

2) 도로 용량 등의 변화 분석

국내 · 외 관련 선행 연구들의 결과를 참조하여 도로 용량 등의 도시 공간 변화 분석에 필요한 요소를 검토하였다. 본 연구에서 검토한 관련 연구 목록 중 일부를 [표 1-2]에 제시하였다.

[표 1-2] 도로 용량 관련 선행 연구 목록

번호	도로 용량 관련 선행 연구 목록
1	Chen, D., Hanna, J., Kockelman, K. M.(2016), Operations of a shared, autonomous, electric 36 vehicle (SAEV) fleet: Implications of vehicle charging infrastructure decisions, Transport Research Part A, 94, pp.243-254.
2	Fernandez, P., Nunes, U.(2012), Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles - Strategies to mitigate communication delays, Improves safety and traffic flow, IEEE transactions on ITS, pp.91-106.
3	Bichiou, Y., Rakha, H.(2018), Developing an optimal intersection control system for cooperative automated vehicles, IEEE Transactions on ITS.
4	Zohdy, I., Rakha, H.(2013), Enhancing roundabout operation via vehicle connectivity, Transportation Research Record of Journal of the Transportation Research Board, No, 2381, pp.91-100.
5	Fagnant, D. J., Kockelman, K. M.(2015), Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendation for capitalizing on self-driven vehicles, Transportation Research Part A, 77, pp.167-181.
6	Qu, X.(2017), Advances in Modelling Connected and Automated Vehicles,
7	Tientrakool, P., Ho, Y.C., Nicholas F.M.(2011), Highway capacity benefits from using vehicle-to vehicle communication and sensors for collision avoidance, Vehicle Technology conference (VTC Fall), IEEE.

본 연구는 실제 도로 네트워크를 대상으로 교통 시뮬레이션을 통해 도로 용량의 변화 분석을 시도하였다. 교통 시뮬레이션은 마이크로 시뮬레이터를 활용하였으며, 도로 및 교통 여건의 변화에 따른 교차로 용량 변화, 서비스 수준, 통과 교통량, 통행속도, 지체 수준 변화 등을 도출하였다. 분석 대상은 도로 네트워크는 분당구 에 위치한 13개 교차로를 대상으로 하였다. 분석 대상 네트워크는 왕복 8차로, 6차로, 4차로로 구성되어 있다. 시뮬레이션은 자율주행자동차의 행동 특성을 반영하기 위해 적합한 Car-following 모델을 선정하였고, 차로 변경 형태, 차량 가·감속, 정지 거리, 차두시간, 추종거리 변동성 등 주행 관련 변수를 적용하였다.

3) 주차장 및 도로 면적 변화에 대한 실증 분석

본 연구에서 선행 연구 및 시뮬레이션 분석을 통해 도출한 주차장과 도로 감소율 결과를 토대로 실증 분석을 수행하였다. 분석 대상은 경기도 성남시 분당구를 대상으로 하였으며, 분석을 위해 GIS 자료를 활용하였다.

분석을 위해 사용한 자료는 크게 건물 관련 자료와 도로 관련 자료, 그리고 주차장 관련 자료이다([표 1-3]). 건물 관련 정보는 건물통합정보 자료를 활용하여 건물용도, 연면적, 면적, 건물 부지 면적 등을 계산하였으며, 토지이용계획도를 이용하여 건물 부지 면적 등 일부 부족한 부분을 보완하였다. 도로 차로 정보는 국가교통 DB의 도로망 자료를 활용하였으며, 도로 면적은 도로 경계 수치지형도 2.0을 사용하여 계산하였다. 마지막으로 성남시에서 제공하는 노외/노상 주차장 정보를 GIS로 변환 구축하여 노외/노상 주차장의 면적과 위치, 주차면수 등을 계산하였다.

[표 1-3] 실증 분석을 위한 활용 GIS 데이터 목록

데이터 명	용도
건물통합정보 ¹⁾	건물용도, 건물 면적, 연면적, 대지면적
토지이용계획도 ¹⁾	토지용도, 대지면적
국가교통 DB 도로망 ²⁾	도로 차로 자료
도로경계 수치지형도2.0 ¹⁾	도로의 면적 산출
노외/노상 주차장 자료 ³⁾	노외/노상 위치 및 주차면, 면적계산

1) 토지주택공사 공간정보시스템, 내부자료

2) 국가교통 DB(KTDB), <https://www.ktdb.go.kr/www/index.do>

3) 성남시 도시개발공사 홈페이지, <https://park.isdc.co.kr/main.do>

주차장 감소 면적의 경우 먼저 분석 지역인 분당의 현재 주차면과 주차장의 연면적, 건축물의 용도별 연면적을 도출하고, 예상 감소율을 적용하여 감소한 주차장 면적을 계산하였다.

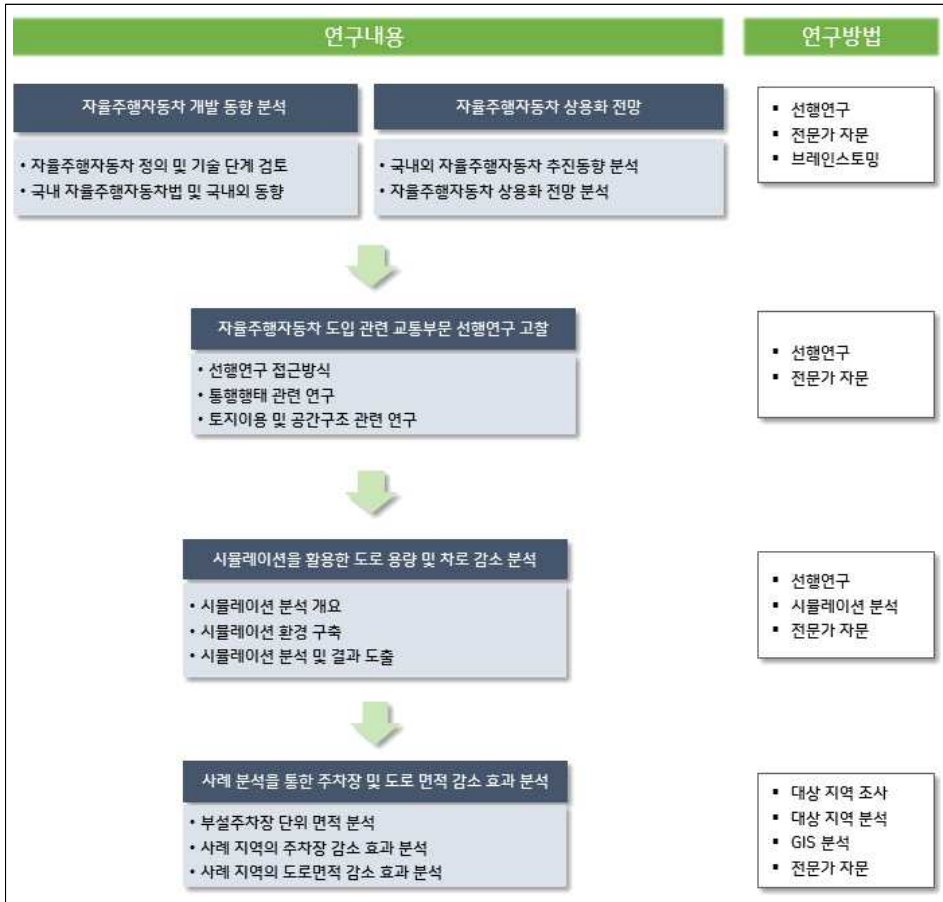
도로 감소 면적은 분당구 전체 도로의 면적을 차로수별로 계산하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 얻은 차로수별 면적 감소 비율을 적용하여 감소 면적을 계산하였다.

4) 도시 공간의 변화 분석

주차장 및 도로 감소에 따른 공간 변화를 전망하였고, 이를 개념적으로 제시하였다. 본 연구에서 검토한 도시 공간은 도시 공간구조, 건축물, 도로 단면 교통 시설, 도시 경관 등으로 자문회의와 FGI(Focus Group Interview) 기법을 통해 착안점을 찾아 제시하였다.

5) 연구 수행 절차

연구 수행 절차는 [그림 1-1]과 같다.



[그림 1-1] 연구 수행 절차

제2장

자율주행자동차 정의 및 전망

LAND
HON
ING
TUT
E

제2장 자율주행자동차 정의 및 전망

1. 자율주행자동차 정의와 기술 개발 단계

1.1. 자율주행자동차 정의 및 기술 구성

1) 자율주행자동차 정의

2019년 4월 30일 제정되었고 2020년 5월 1일부터 시행된 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」 제2조 1항 1호에서 자율주행자동차를 다음과 같이 정의하고 있다.

“운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차”

좀 더 쉽게 설명하면, 자율주행자동차는 운전자나 동승자의 운전 행위 없이 자동차가 주행 환경에 따라 자율적으로 운전할 수 있다. 자동차 스스로 주변 교통 상황에 맞게 감속하고나 가속하고, 조향, 차로 변경 등 운전에서 필요한 모든 조작을 맡아 하며, 자율주행 환경에서 사람은 운전에서 완전히 배제된다.

2) 자율주행자동차 기술적 구성

자율주행자동차는 센서, 통신 기술, 정밀지도, 위성항법 기술, 인공지능 등 첨단 기술이 접목되어 작동한다.

자율주행자동차는 일반적으로 카메라, 레이더, 라이다 등 센서로부터 주변 환경, 다시 말해, 다른 차량들과 도로 시설물과 상대적 거리 등을 인식할 수 있는 정보를 받는다. 이중 라이다는 360도 주변 이미지를 구축하고, 주변 사물과의 거리를 인식하는 역할을 한다.

위성항법 기술과 정밀지도를 통해 자신의 위치를 추적하며, 인공지능은 이 모든 정보를 통해 자율운전에 필요한 인지, 판단, 운전을 수행한다.

여기에 더해 V2X(Vehicles to Everything) 기술은 차량과 차량, 차량과 도로변 시설과의 통신을 통해 주행 안전성을 높이고, 도로 네트워크를 효율적으로 관리할 수 있게 한다. V2V(Vehicles to Vehicles)는 앞차와 뒤차 그리고 주변 자동차들과 정보를 교환하며, 자동차의 가감속도, 브레이킹, 차로 변경은 물론 고장 상태 등을 서로 교환하여 안전한 주행은 물론, 교통 혼잡을 예방하거나 완화시키며 주행을 하게 된다.



[그림 2-1] 자율주행자동차 기술 구성

1.2. 자율주행자동차 기술 개발 단계

자율주행자동차는 자율주행 기술 수준에 따라 몇 단계로 나누고 있다. 미국 자동차공학회(SAE, Society of Automotive Engineering)와 미국 교통부 산하의 도로교통안전국(NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration)의 개발 단계가 있다. 그러나 최근 SAE의 기준으로 통합하고 있다. SAE 기술 단계는 국제 표준 J3016으로 제정되어 있는데, Level 0(자동화 없음)에서 Level 5(완전 차량 자율성)까지 6가지 수준의 주행 자동화를 정의하고 있다³⁾.

3) <https://blogs.nvidia.co.kr/2018/01/29/whats-difference-level-2-level-5-autonomy/>



[그림 2-2] SAE의 자율주행기술 단계

레벨 0은 자동차의 모든 제어가 전적으로 운전자의 책임인 단계이다. 자동 변속 기어도 여기에 속하며, 차로 이탈 경고나 이동 사물 감지처럼 시·청각으로 경고를 하는 시스템 장착 차량도 여기에 해당한다. 경고음과 경고등을 낼 뿐, 여전히 자동차의 모든 제어는 운전자의 몫이기 때문이다.

레벨 1은 카메라와 센서 등으로 속도를 제한하는 보조 역할을 하거나 제동 보조 기능이 제공된다. 가령 앞차와 간격을 스스로 유지하면서 일정 속도로 주행하는 기능을 하거나 차로의 중앙을 따라 주행하도록 유지하는 레인 센터링(Lane centering) 등의 기능 중 어느 하나를 사용할 때 레벨 1에 속한다.

레벨 2는 속도나 조향 가운데 하나만을 제어하는 레벨 1과 달리, 레벨 2는 동시에 두 기능을 제어할 수 있다. 가령 앞차와의 간격을 유지하는 크루즈 컨트롤과

차로의 중앙을 따라 주행하도록 유지하는 레인 센터링 등의 기능을 포함한 자동차가 레벨 2에 해당한다.

레벨 3은 자동차는 사람의 개입 없이 조향, 가속 및 감속, 추월이 가능하며 사고나 교통 혼잡을 피해 움직일 수도 있다. 레벨 2는 운전자가 운전대를 잡고 있어야 하지만 레벨 3에서는 운전자가 운전대와 페달에 손과 발을 올려두지 않아도 된다. 다만, 자동차가 요청하는 경우, 운전자는 자동차를 다시 제어할 수 있도록 준비 상태에 있어야 한다. 자율주행에서 운전자 주행으로 전환되는 과정에서 위험 가능성이 있다고 판단해, 구글 웨이모, 포드와 볼보 등은 레벨 3을 도입하지 않고 건너뛰겠다는 입장이다.

레벨 4는 손과 발, 눈이 완전히 자유롭고, 대부분의 운전을 자동차 스스로 한다. 게다가 운전자가 차량 제어에 개입하라는 요청에 적절히 응하지 못하는 상황에도 스스로 안전한 주행이 가능하다.

레벨 5는 레벨 4와 같이 손과 발, 눈이 완전히 자유로울 뿐더러, 어떠한 경우에도 사람은 운전에서 완전히 자유로워진다.

2. 국내 자율주행자동차법 및 국내외 개발 동향

2.1. 자율주행자동차법과 2030산업발전전략

1) 자율주행자동차법

「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률 (약칭: 자율주행자동차법)」이 2019년 4월 30일에 제정되었고, 2020년 5월 1일 부로 시행되었다. 이법은 자율주행자동차의 도입 확산과 안전한 운행 기반 조성 및 지원을 목적으로 만들어졌다.

본 연구에서는 「자율주행자동차법」 중 핵심이 되는 안전구간의 지정(6조), 시범 운행지구 지정(7조) 및 관리(8조), 여객의 유상운송에 관한 특례(9조)를 중심으로 살펴보았다.

「자율주행자동차법」 제6조는 자율주행 안전구간의 지정에 관한 내용을 담고 있다. 국토교통부장관은 자동차전용도로 중 안전하게 자율주행 할 수 있는 구간을 '자율주행안전구간'으로 지정하여 자율주행자동차가 주행할 수 있도록 하고 있다. 동법 시행규칙 제5조에서 정하는 바에 따라 자율주행 안전구간을 지정할 수 있으며, 「도로법」 제48조제1항인 자동차전용도로에 자율주행자동차 안전구간을 지정하도록 하고 있다. 또한 「자율주행자동차법」 시행규칙 제5조를 통해 안전구간을 도로관리청과 지방경찰청 등 관계기관장 및 이 구간 통행 자율주행자동차 운전자들에게 통보하여야 하며 해제 시에도 동일하다. 국토교통부장관은 자율주행 안전구간의 확대 및 신뢰도 확보를 위하여 동법 시행규칙 제6조를 통해 도로시설 개선 및 유지와 자율주행협력시스템 구축 등을 조치하거나 도로관리청과 지방경찰청 등 관계기관에 조치를 요구할 수 있도록 하고 있다.

[자율주행자동차법 제6조(자율주행 안전구간의 지정)]

- ① 국토교통부장관은 자율주행자동차의 운행 지원을 위한 인프라 등을 고려하여 「도로법」 제48조제1항에 따른 자동차전용도로 중 안전하게 자율주행 할 수 있는 구간(이하 "자율주행 안전구간"이라 한다)을 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 지정할 수 있다.
- ② 국토교통부장관은 제1항에 따른 자율주행 안전구간을 지정하는 경우 해당 구간을 관할하는 도로관리청과 지방경찰청 등 관계기관의 장 및 이 구간을 통행하는 자율주행자동차의 운전자 등에게 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 그 지정 사실을 통보하거나 고지하여야 한다. 지정을 변경하거나 해제하는 경우에도 또한 같다.
- ③ 국토교통부장관은 자율주행 안전구간의 확대 및 신뢰도 확보 등을 위하여 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 도로시설의 개선 및 유지·보수, 자율주행협력시스템의 우선 구축 등 필요한 조치를 하거나 해당 구

- 간의 도로관리청과 지방경찰청 등 관계기관의 장에게 필요한 조치를 하도록 요구할 수 있다.
- ④ 자율주행자동차를 제작·조립·수입 또는 관리하는 자는 자율주행시스템에 자율주행 안전구간 지정 현황을 반영하여야 한다.

[자율주행자동차법 시행규칙 제5조(자율주행 안전구간의 지정)]

- ① 국토교통부장관은 법 제6조제1항에 따른 자율주행 안전구간을 지정하는 경우에는 다음 각 호의 사항을 고려해야 하며, 필요한 경우 세부 기준을 정할 수 있다.
1. 다음 각목의 사항이 포함된 도로구조
 - 가. 차로 수·폭 및 표시
 - 나. 차도의 평면곡선 반지름 및 길이
 - 다. 차도의 평면곡선부 편경사 및 그 변화도의 확폭
 2. 자율주행협력시스템의 구축·운영현황 및 도로여건
 3. 정밀도로지도의 구축·갱신 현황
 4. 그 밖에 자율주행 안전구간의 지정을 위해 국토교통부장관이 필요하다고 인정하는 사항

[도로법 제48조(자동차전용도로의 지정)]

- 제1항 도로관리청은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 대통령령(시행법)으로 정하는 바에 따라 자동차전용도로 또는 전용구역을 지정할 수 있다. 이 경우 자동차전용도로로 지정하려는 도로에 둘 이상의 도로관리청이 있으면 관계되는 도로관리청이 공동으로 자동차도로 자동차전용도로를 지정하여야 한다.
1. 도로의 교통량이 현저히 증가하여 차량의 능률적인 운행에 지장이 있는 경우
 2. 도로의 일정한 구간에서 원활한 교통소통을 위하여 필요한 경우

[자율주행자동차법 시행규칙 제6조(도로시설의 개선 등 요구)]

1. 법 제6조제3항에 따른 요구는 서면으로 해야 한다.
2. 국토교통부장관은 법제6조제3항에 따라 조치를 요구할 때에는 그에 필요한 재정적·행정적 지원을 할 수 있다.

「자율주행자동차법」 제7조는 자율주행자동차의 상용화를 촉진하기 위한 시범 운행지구의 지정을 담고 있다. 이를 위해 국토교통부장관은 자율주행자동차 시범 운행지구를 운영하려는 시·도지사의 신청을 받아 동법 제16조에 따라 위원회의 심의·의결을 거쳐 자율주행자동차 시범운행지구를 지정할 수 있다. 지정 및 변경, 해제 또한 같지만 동법 시행령 제6조로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 시범운행지구 위원회의 심의를 거쳐야 한다. 또한 동법 시행령 제5조에서 정하는 바에 따라 그 내용을 관보에 고시하고 시·도지사에게 통보하여야 한다.

[자율주행자동차법 제7조(시범운행지구의 지정 등)]

- ① 국토교통부장관은 자율주행자동차 시범운행지구를 운영하려는 시·도지사의 신청을 받아 제16조에 따른 자율주행자동차 시범운행지구 위원회의 심의·의결을 거쳐 자율주행자동차 시범운행지구(이하 "시범운행지구"라 한다)를 지정할 수 있다. 지정을 변경 또는 해제하는 경우에도 또한 같다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 자율주행자동차 시범운행지구 위원회의 심의를 거치지 아니할 수 있다.
- ② 국토교통부장관은 제1항에 따라 시범운행지구를 지정·변경 또는 해제한 경우 대통령령으로 정하는 바에 따라 그 내용을 관보에 고시하고, 이를 신청한 시·도지사에게 통보하여야 한다.
- ③ 제1항 및 제2항에서 규정한 사항 외에 시범운행지구의 지정·변경 또는 해제에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

[자율주행자동차법 제16조(위원회의 구성 등)]

1. 자율주행자동차 시범운행지구에 관한 정책 및 중요 사항을 심의·의결하기 위하여 국토교통부장관 소속으로 자율주행자동차 시범운행지구 위원회를 둔다.
2. 위원회는 기본정책 제도, 지정·변경·해제, 제15조의 규제특례 적용의 배제, 제17조의 시범운행지구의 운영평가에 관한 사항을 심의·의결한다.
3. 위원회는 위원장 2명을 포함하여 20명 이내의 위원으로 구성한다.
4. 위원장 1명은 국토교통부장관이 되고, 다른 위원장 1명은 제1호 민간위원 중에서 호선한다.
5. 위원회는 시범운행지구에서 자율주행자동차의 연구·시범운행과 관련된 시·도의 조려가 현저히 불합리하다고 인정하는 경우에는 폐지 등의 의견을 지방의회에 제출할 수 있다.

[자율주행자동차법 시행령 제6조(시범운행지구의 지정 변경 등)]

시·도지사는 법 제7조제1항 후단에 따라 시범운행지구의 지정 변경 또는 해제를 신청하려는 경우에는 시범운행지구 지정·해제 신청서를 제5조제1항 각 호의 사항에 포함된 시범운행지구 운영계획서를 첨부하여 국토교통부장관에게 제출하여야 한다.

[자율주행자동차법 시행령 제5조(시범운행지구의 지정 등)]

1. 시·도지사는 법 제7조제1항에 전단에 따라 시범운행지구의 지정을 신청하려는 경우에는 시범운행지구 운영계획서를 국토교통부장관에게 제출해야 한다.
2. 국토교통부장관은 제1항에 따른 신청을 받은 날로부터 90일 이내에 지정 여부를 결정하고, 그 결과를 해당 시·도지사에게 통지해야 한다. 부득이 한 경우에는 45일의 범위에서 연장할 수 있다.
3. 국토교통부장관은 시·도지사에게 시범운행지구 운영계획서의 수정·보완 요청을 할 수 있다.

「자율주행자동차법」 제8조는 자율주행자동차 시범운행지구를 안전하게 운영 및 관리를 목적으로 한다. 시범운행지구로 지정·고시된 구역을 관할하는 시·도는 동법 제7조제1항 따라 시범운행지구 운영에 필요한 사항을 조례로 정해야 하며 국토교통부장관은 지정된 시범운행지구를 지원·관리하기 위해 협의체(도로관리청, 지방경찰청장 등 관계기관장)을 구성하여 운영하여 시범운행지구를 운영해야 한다. 이에 필요한 사항은 동법 시행령 제7조로 정한다.

[자율주행자동차법 제8조(시범운행지구의 운영 및 관리 등)]

- ① 시범운행지구로 지정·고시된 구역을 관할하는 특별시·광역시·특별자치시·도 또는 특별자치도(이하 "시·도"라 한다)는 제7조제1항에 따라 지정·고시된 시범운행지구의 운영에 필요한 사항을 조례로 정할 수 있다.
- ② 국토교통부장관은 지정된 시범운행지구를 지원·관리하기 위하여 관할 시·도지사와 도로관리청, 지방경찰청장 등으로 구성된 시범운행지구 협의체를 구성하여 운영할 수 있다. 이 경우 협의체의 구성 및 운영 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

[자율주행자동차법 시행령 제7조(시범운행지구 협의체)]

1. 법 제8조제2항에 따른 시범운행지구 협의체는 위원장 1명을 포함한 20명 이내의 위원으로 구성된다.
2. 협의체 위원장은 협의체 개최를 요청하는 경우 협의체의 회의를 소집할 수 있다.
3. 협의체 구성과 운영에 관한 세부사항은 협의체의 위원장이 정한다.

「자율주행자동차법」 제9조는 여객의 유상운송에 관한 특례에 대한 내용을 담고 있다. 1항을 보면 「여객자동차 운수사업법」 제81조를 언급하고 있는데, 자가용 자동차의 유상운송 금지에 대한 내용을 담고 있다. 사업용 자동차가 아닌 자동차를 유상으로 운송용으로 제공하거나 임대하여서는 아니 되며, 누구든지 이를 알선하여서는 아니 된다. 다만 출·퇴근시간대 승용자동차를 함께 타는 경우나 천재지변, 긴급 수송, 교육 목적을 위한 운행, 그 밖에 국토교통부령으로 정하는 사유에 해당되는 경우로 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장의 허가를 받은 경우에만 가능하다. 그럼에도 불구하고 「자율주행자동차법」 제9조에서는 사업용 자동차가 아닌 자율주행자동차를 활용하여 시범운행지구에서 유상으로 여객의 운송용으로 제공하거나 임대할 수 있다는 내용을 담고 있다. 동법 시행령 제8조는 여객의 유상운송에 관한 특례에 대한 내용을 담고 있다. 해당령 1항에 따르면 「여객자동차 운수사업법」 제2조제1호의 자동차나 이에 준하는 자동차여야 하며, 「자동차관리법」 제27조제1항에 따른 임시운행허가를 받아야 한다는 등 기준을 만족해야 한다는 것을 알 수 있다. 「자율주행자동차법」 제9조 제3항은 국토교통부장관 또는 시, 도지사가 한정운수면허를 발급하는 것과 관련한 내용이다. 「자율주행자동차법」 시행령 제8조제2항에 따르면 한정운수면허를 국토교통부장관이 발급할 시, 광역급행형 시내버스운송사업, 고속형 시외버스운송사업이 발급대상이 되고, 시, 도지사가 발급할 경우는 시내버스운송사업(광역급행형 시내버스운송사업은 제외), 농어촌버스운송사업, 마을버스운송사업, 시외버스운송사업(고속형 시외버스운송사업은 제외), 수요응답형 여객자동차운송사업(노선을 정하여 운행하는 경우만 해당) 발급대상이 될 수 있다.

[자율주행자동차법 제9조(여객의 유상운송에 관한 특례)]

- ① 「여객자동차 운수사업법」 제81조에도 불구하고 사업용 자동차가 아닌 자율주행자동차를 활용하여 시범운행지구에서 유상으로 여객의 운송용으로 제공하거나 임대할 수 있다.
- ② 제1항에 따라 시범운행지구에서 자율주행자동차를 활용하여 유상운송을 하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관의 허가를 받아야 한다. 이 경우 국토교통부장관은 교통안전 확보 및 운송질서 유지 등에 필요한 조건을 붙일 수 있다.
- ③ 국토교통부장관 또는 시범운행지구를 관할하는 시·도지사는 「여객자동차 운수사업법」 제4조에도 불구하고 시범운행지구에서 자율주행자동차를 활용하여 노선의 운행을 하려는 자에 대하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 한정운수면허를 발급할 수 있다.
- ④ 국토교통부장관 또는 시범운행지구를 관할하는 시·도지사는 제3항에 따른 한정운수면허를 발급하는 요건, 절차 및 그 밖에 필요한 사항을 정하여 미리 공고하여야 한다.

[여객자동차 운수사업법 제81조(자가용 자동차의 유상운송 금지)]

- ① 사업용 자동차가 아닌 자동차(이하 "자가용자동차"라 한다)를 유상(자동차 운행에 필요한 경비를 포함한다. 이하 이 조에서 같다)으로 운송용으로 제공하거나 임대하여서는 아니 되며, 누구든지 이를 알선하여서는 아니 된다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 유상으로 운송용으로 제공 또는 임대하거나 이를 알선할 수 있다.
 1. 출·퇴근시간대(오전 7시부터 오전 9시까지 및 오후 6시부터 오후 8시까지)를 말하며, 토요일, 일요일 및 공휴일인 경우는 제외한다) 승용자동차를 함께 타는 경우
 2. 천재지변, 긴급 수송, 교육 목적을 위한 운행, 그 밖에 국토교통부령으로 정하는 사유에 해당하는 경우로서 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장(자치구의 구청장을 말한다. 이하 같다)의 허가를 받은 경우
- ② 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장은 제1항제2호에 따른 허가의 신청을 받은 날부터 10일 이내에 허가 여부를 신청인에게 통지하여야 한다.
- ③ 특별자치시장·특별자치도지사·시장·군수·구청장이 제2항에서 정한 기간 내에 허가 여부 또는 민원 처리 관련 법령에 따른 처리기간의 연장 여부를 신청인에게 통지하지 아니하면 그 기간이 끝난 날의 다음 날에 허가를 한 것으로 본다.
- ④ 제1항 제2호의 유상운송 허가의 대상 및 기간 등은 국토교통부령으로 정한다.

[자율주행자동차법 시행령 제8조(여객의 유상운송에 관한 특례)]

- ① 법 제9조제2항 또는 제3항에 따라 유상운송 허가 또는 한정운수면허를 받으려는 자는 다음 각 호의 요건을 모두 갖추어 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관 또는 시범운행지구를 관할하는 시·도지사에게 신청해야 한다.
 1. 유상 여객운송에 활용되는 자율주행자동차는 다음 각 목의 요건을 모두 갖춘 것
 - 가. 「여객자동차 운수사업법」 제2조제1호의 자동차나 이에 준하는 자동차일 것
 - 나. 「자동차관리법」 제27조제1항에 따른 임시운행허가를 받았을 것
 2. 유상 여객운송에 활용되는 자율주행자동차의 대수는 제5조제1항제3호나목에 따른 상한을 초과하지 않을 것
 3. 법 제19조에 따른 보험을 가입할 것
- ② 법 제9조제3항에 따른 한정운수면허의 발급권자와 해당 발급대상은 다음 각 호와 같다.
 1. 국토교통부장관
 - 가. 「여객자동차 운수사업법 시행령」 제3조제1호가목에 따른 광역급행형 시내버스운송사업
 - 나. 「여객자동차 운수사업법 시행령」 제3조제1호라목에 따른 고속형 시외버스운송사업
 2. 시범운행지구를 관할하는 시·도지사
 - 가. 「여객자동차 운수사업법 시행령」 제3조제1호가목에 따른 시내버스운송사업(광역급행형 시내버스운송사업은 제외)
 - 나. 「여객자동차 운수사업법 시행령」 제3조제1호나목에 따른 농어촌버스운송사업
 - 다. 「여객자동차 운수사업법 시행령」 제3조제1호다목에 따른 마을버스운송사업
 - 라. 「여객자동차 운수사업법 시행령」 제3조제1호라목에 따른 시외버스운송사업(고속형 시외버스운송사업은 제외)
 - 마. 「여객자동차 운수사업법」 제3조제1항제3호에 따른 수요응답형 여객자동차운송사업(노선을 정하여 운행하는 경우만 해당)
- ③ 국토교통부장관 및 시범운행지구를 관할하는 시·도지사는 법 제9조제3항에 따른 한정운수면허를 발급하는 경우 사전에 상호 협의해야 한다. 이 경우 한정운수면허로 운행되는 자율주행자동차의 대수는 제5조제1항제3호나목에 따른 상한을 초과해서는 안 된다.
- ④ 국토교통부장관 또는 시범운행지구를 관할하는 시·도지사는 법 제9조제3항에 따라 한정운수면허를 발급했을 때에는 지체 없이 그 사실을 상호 통보해야 한다.
- ⑤ 국토교통부장관은 법 제9조제2항에 따른 유상운송 허가를 받거나 같은 조 제3항에 따른 한정운수면허를 발급받아 운행하는 자율주행자동차에 대하여 국토교통부장관이 정하여 고시하는 표지를 부착하게 할 수 있다.

[여객자동차 운수사업법 제2조제1호(정의)]

1. "자동차"란 「자동차관리법」 제3조에 따른 승용자동차와 승합자동차를 말한다.

[자동차관리법 제27조제1항(임시운행의 허가)]

① 자동차를 등록하지 아니하고 일시 운행을 하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관 또는 시·도지사의 임시운행허가(이하 "임시운행허가"라 한다)를 받아야 한다. 다만, 자율주행자동차를 시험·연구 목적으로 운행하려는 자는 허가대상, 고장감지 및 경고장치, 기능해제장치, 운행구역, 운전자 준수 사항 등과 관련하여 국토교통부령으로 정하는 안전운행요건을 갖추어 국토교통부장관의 임시운행 허가를 받아야 한다.

2) 2030 미래자동차 산업발전전략

2019년 10월 산업통상자원부에서 발표한 ‘2030 미래자동차 산업발전전략’에서는 2024년까지 완전자율주행자동차 출시 및 이를 위한 제도 도입(성능 검증, 보험, 운전자 의무 등)을 완료하고, 2027년까지는 주요 도로에 완전자율주행자동차를 상용화할 계획을 발표하였다.

정부는 자동차가 제조업의 근간이며 전후방 산업기술이 집약된 구심체로 미래 자동차 대전환에 실기(失期)할 경우, 자동차 중진국으로 전락할 우려가 있다고 판단하고 있다. 특히 전 세계 주요 기업이 미래자동차 전환을 예상보다 빠르게 진행 중에 있다는 점을 강조하고 있다. 또한, 우리 기업들이 향후 10년간 60조원 미래자동차 투자로 대응하고 있지만, 미래자동차 산업 특성상 민간 노력만으로는 한계가 있으므로 세계시장 선점을 위해 선제적 인프라 구축, 제도 정비 시급하다고 판단한 것이다.

이 전략의 주요 내용은 다음과 같다.

□ 친환경 자동차 세계시장 선도

- 친환경 자동차 대중화 : 2030년 전기 수소차 판매 비중 33% 달성
- 전 차종 라인업 구축 및 성능 개선, 글로벌 전기자동차 생산기지화 등을 통해 국내 판매 기반 확충과 세계시장 경쟁력 제고
- 2030년 신차의 70%인 내연기관도 친환경·고효율화 지속 추진
- 친환경 자동차 국내 보급 확대를 위해 보조금·연료비 지원, 충전 인프라 확산 등 추진

□ 자율주행자동차 미래시장 선점

- 2027년 전국 주요도로 완전자율주행(레벨4) 세계 최초 상용화를 위하여 법·제도, 인프라(주요도로)를 세계에서 가장 먼저 완비(2024년)
- 완전자율주행 통신 인프라 등을 전국 주요도로에 완비(2024년),
- R&D → 상용화의 발전 단계별 규제 정비(2024년)
- 완성차사는 차량개발 출시를 최대한 가속화하고, 정부는 차량 출시와 연동하여 부품국산화 등 산업 생태계 지원

□ 미래자동차 서비스 시대 준비

- 서비스 시장 빅뱅에 대비하여 커넥티드 정보 서비스를 우선 확산
- 교통약자·소외지역 이동 지원 등 선도 서비스(셔틀, 로봇모빌리티) 및 공공서비스(도로복구, 자동순찰) 등으로 이동서비스 조기 실현

□ 산업생태계의 미래자동차 대전환

- (미래자동차 전환) 전장 부품기업 육성 등 전환 가속화
(2018년 4% → 2030년 20%)
 - 미래자동차 전환과 단기적 자금난 해소를 위하여 2조원 이상 지원
 - 업계가 필요로 하는 고급인력 슈퍼엔지니어 500명 양성(~2025년)
 - 공동개발 등 해외 완성차와 협력 강화로 부품 공급망 진입 지원
- 신산업 창출을 위해 창업 지원 및 협력 플랫폼 구축
- 핵심소재·부품의 자립도를 50% → 80%로 높임

2030 미래자동차 국가 비전

비전

2030년 미래차 경쟁력 1등 국가



목표

전기·수소차
국내 신차 판매비중



전기·수소차
세계시장 점유율



'27년 전국 주요도로
완전자율주행 세계 최초 상용화



친환경차 세계시장 선도

친환경차 기술력 & 국내보급 가속화

차종 '30년 모든 차종의 친환경차 출시



차량성능



충전인프라



수요창출



자율주행차 미래시장 선점

'24년 완전자율주행 세계 최초 제도·인프라(주요도로) 완비

인프라 '24년 전국 주요도로 4대 인프라 완비



제도 '24년 법·규정·제도·보험 완비



차량 '24년 완전자율주행차 출시



서비스 서비스 확산, '25년 플라잉카 실용화



개방형 미래차 생태계

민간투자(60조원) & 미래차 전환 가속화

부품기업 미래차 전환 '30년 전장부품 기업비중 20%



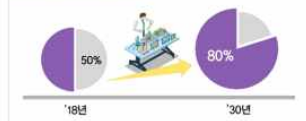
개방형 협력 생태계 미래차 신산업 창출



개방형 협력모델



미래차 소재·부품 '30년 자립도 80%



기대효과



자료 : 산업통상자원부, 2020

[그림 2-3] 미래자동차 산업 발전 전략(2019.10.15)

2.2. 국내외 자율주행자동차 개발 동향

1) 해외 현황

미국은 2011년 6월 네바다 주(州)를 시작으로 자율주행자동차 테스트를 허가했으며, 2016년 1월 12일 자율주행자동차를 미국의 국가전략기술로 선정한다는 발표를 하였다.

2016년 3월말 기준 네바다, 캘리포니아, 플로리다, 미시간, 노스다코다, 테네시, 워싱턴 DC, 유타, 애리조나 등 9개 주(州)에서 시험주행을 허용하였고, 최근 8개 주(州)에서는 법제도 개정을 통해, 애리조나 주(州)는 주지사의 행정명령을 통해 자율주행자동차 운행을 허가하기도 했다. 캘리포니아 州의 경우 자율주행자동차의 일반도로 시험주행을 허용했으며, 시험주행뿐만 아니라 일반주행에 대한 법률 논의도 진행 중이다.

캘리포니아의 「자동차법(Vehicle Code, VEH)」은 Division 1~18로 구성되어 있으며, 자율주행자동차 관련 내용은 SB1298 Division 16.6.38750에 해당된다. 캘리포니아는 2015년 11월 자율주행자동차 관련 법 초안을 발표했으며 시험주행 요건은 자율주행자동차용 면허를 소지한 운전자의 의무 탑승을 담고 있다. 운전자 책임조향을 두고 있어 자율주행자동차를 조작하는 동안 발생하는 모든 교통규칙 위반에 대한 책임은 운전자에게 귀속시키고 있으며, 운전자의 안전을 보장하기 위한 규정들도 함께 수록하고 있다. 다만, Subdivision(d)규정에 따르면, 자율주행 자동차의 운행허가는 제조업체에게 주어지는데, 이는 소유권이 제조업체에 있음을 뜻하는 것으로 자율주행 모드 시 발생한 사고, 주행안전과 관련한 결함은 제조업체에 책임이 있음을 규정하고 있다. 이 규정에 따라 자율주행자동차는 최초 3년 동안 임시허가를 받게 되며, 허가기간 동안 월 단위로 자율주행자동차 운행성능, 안전성 등과 관련한 보고를 하도록 하고 있다. 한편, 연방정부 차원에서는 2013년 5월 NHTSA가 자동화된 운송수단의 안전주행에 관한 지침을 담은 권고안 (Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicle)을 배포하기도 하였다.

현재 캘리포니아 주에서만 구글의 웨이모, 애플의 Drive AI, GM, 닛산, 도요타, ZooX, 우버의 UATC, JingChi, 아마존의 Aurora 등 약 13개 이상의 자율주행

자동차 제작 회사가 자율주행 실증실험에 참여하고 있다.

중국은 자율주행자동차 테스트 지역이 23개 도시에 이르며, 일본은 2017년부터 고령화가 심각한 나카야마간(中山間) 지역 등 전국 18개소에서 자동운전에 의한 이동서비스의 실증실험을 실시하고 있다. 특히 2017년 한 해에만 총 2,200km에 이르는 실험 주행이 이루어졌다.

독일은 2015년 6월 자율주행자동차를 위한 자동화와 네트워크 운전 전략 입법안을 통과시키고, 2015년 9월부터 바이에른 주에서 자율주행자동차를 테스트하고 있다. 또한 자율주행버스 파일럿 프로젝트인 제마일레(See-Meile)를 추진하고 있다. 2019년 8월 16일부터 베를린의 일반도로에서 자가운전이 가능한 미니버스를 공개 테스트하고 있다⁴⁾. 미니버스는 최대 6명의 승객 탑승 가능하며, 속도는 최대 15km/h이고, 주행 구간은 1.2km(테겔 공항 역에서 테겔 호수까지 운행)이다. 2020년 2월 현재까지 누적 탑승객 수는 약 14,000명이며, 3,200km가량을 무사고로 운전하고 있다.

2) 국내 현황

우리나라는 2016년 자율주행자동차 임시 운행허가제를 도입하여 실제 도로에서 시험운행을 할 수 있는 법적 근거를 마련하고 있다. 이후 2016년 11월에는 일부 지역으로 한정되어 있던 시험운행 구간을 전국 모든 도로로 확대하였으며, 2017년 3월에는 운전석이 없는 자율주행자동차 운행을 허용하였고, 2018년 4월에는 동일한 자율주행자동차에 대한 임시운행 허가 절차를 간소화하였다.

2019년 12월에는 5G망을 구축한 자율주행 실험도시인 ‘케이-시티(K-City)’를 준공하였다. K-City(36만㎡)는 미국 M-City(13만㎡), 일본 J-Town(16만㎡)보다 규모도 크고, 자율자동차 안전기준 및 안전성 평가 시나리오 개발을 위한 다양한 실제 교통상황을 재현할 수 있도록 설계되었다. 또한 WAVE 자동차 전용통신망 5G 이동통신망이 설치되어 있어 다양한 통신방식을 활용하여 차량-인프라 간, 차량-차량 간 협력주행 실험을 할 수 있도록 하였다.

4) 서울연구원, 자율주행버스 시범 운행 ‘인기 높아’ (독일 베를린 시), 세계도시동향, 2020.02.24



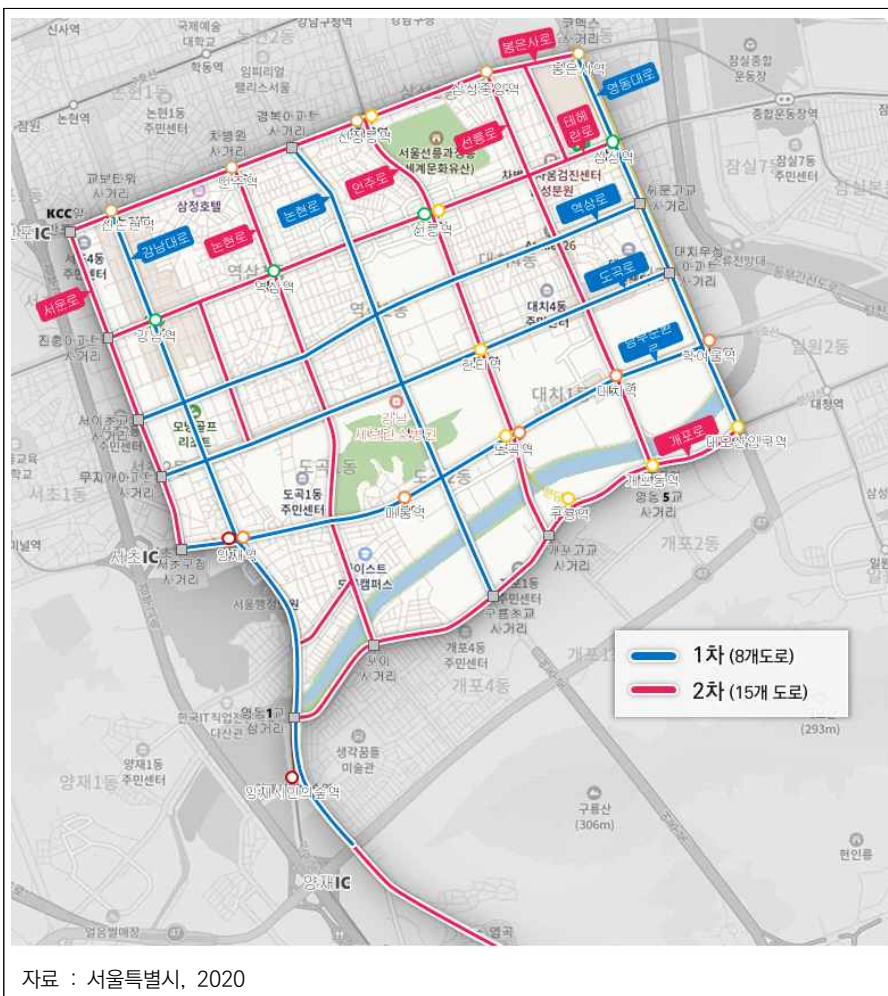
자료 : 교통안전공단, 2020

[그림 2-4] K-City 조감도

2019년까지 판교 테크노벨리와 대수 수성알파시티 등에서 자율주행자동차 60대가 임시운행 허가를 받아 71만km 이상을 시험운행 하는 등 실제 도로에서의 시험 운행이 급격히 늘어나고 있고, 2018년 한 해 동안 5개 스타트업이 자율주행자동차 6대의 임시운행 허가를 받았다. 평창 동계올림픽을 계기로 서울에서 평창까지 고속도로 200km 자율주행에 성공하였고, 강변북로와 올림픽대로 등 서울에서 성공적으로 공개 시연을 마치기도 하였다.

자율주행을 지원하는 C-ITS (Cooperative ITS) 지자체 실증사업도 2019년 서울, 제주에 이어 2020년에는 울산과 광주를 추가로 선정하였다. 서울시는 2020년 12월부터 자율주행자동차가 강남도로를 달리며 도심 자율주행 기술 상용화를 위한 실증에 들어갈 예정이다. 서울시는 2020년 5월 21일 글로벌 자동차기업인 현대 자동차와 ‘세계 최고의 자율주행 모빌리티 플랫폼 도시 육성을 위한 제휴’ 양해

각서(MOU)를 체결하였다. 양해각서 체결을 통해 서울시는 자율주행 기술 개발 실증을 위한 도로 인프라를 구축하고, 현대자동차 등 민간은 이를 기반으로 완전 자율주행 상용화를 앞당겨 미래자동차 산업의 민관 협업 생태계를 조성한다는 계획이다. 서울시는 앞서 상암동에 세계 최초의 '5G 자율주행 테스트베드'를 구축해 2019년 9월 민간에 개방한 데 이어 강남, 여의도 도심까지 자율주행 실증 도로를 확대할 예정이다.



[그림 2-5] 서울시 자율주행 실증 도로

울산시는 2019년 10월 자율주행 자동차 산업 기술 로드맵을 발표하였다. 이 기술 로드맵을 통해 울산시는 자율주행 통합지원 서비스 기반 차량 및 부품산업 육성을 목표로 하고 있다. 이를 위해 울산시는 자율주행 시험 기반 조성, 자율주행자동차 상용화 기술 개발 지원, 자율주행 부품 제품과 사업화 지원, 핵심기업 육성을 위한 인력 양성 및 네트워크 구축을 통해 이 목표를 추진할 계획임을 밝혔다. 울산시는 중산교차로에서 가대교차로로 이어지는 7km 구간의 실제 도로를 지자체 최초 자율주행자동차를 위한 인프라를 구축 완료하였고, 지자체 최초로 자율주행자동차 임시운행 허가를 취득하기도 하였다. 또한, 전기자동차 기반 자율주행자동차 제작을 완료하여 기술 개발 레벨3의 테스트도 완료하였다고 보고하고 있다.



[그림 2-6] 울산시 자율주행자동차 기반 및 기술 개발

한편, 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」을 통해 2020년 5월부터는 자율주행자동차 시범운행지구를 지정할 수 있어 이들 시범운행지구에서 자율주행자동차를 활용한 각종 교통서비스에 대한 실증도 가능할 것으로 기대되고 있다. 이미 14개 지자체가 지구 지정 신청을 했고, 6개 지자체가 아래와 같이 선정되었다.

[표 2-1] 2020년 선정 자율주행자동차 시범운행지구 현황

연번	지자체	지구 범위	대표 서비스
1	서울	· 서울 상암동 일원 6km ² 범위	· DMC 역 ↔ 상업·주거·공원 지역 간 셔틀 서비스
2	충북·세종 (공동신청)	· 오송역 ↔ 세종터미널 구간 BRT 약 22.4km	· 오송역 ↔ 세종터미널 구간 셔틀 (BRT) 서비스
3	세종	· BRT 순환노선 22.9km · 1 ~ 4 생활권 약 25km ² 범위	· 수요응답형 정부세종청사 순환 셔틀 서비스
4	광주	· 광산구 내 2개 구역 약 3.76km ²	· 노면청소차, 폐기물수거차
5	대구	· 수성알파시티 내 약 2.2km ² 구간 · 테크노폴리스 및 대구국가산단 약 19.7km ² · 산단연결도로 약 7.8km 구간	· 수성알파시티 내 셔틀 서비스 (삼성라이온즈파크↔대구미술관) · 테크노폴리스, 국가산단 일원 수요 응답형 택시 서비스
6	제주	· 제주국제공항 ↔ 중문관광단지(38.7km) 구간 및 중문관광단지 내 3km 구간	· 공항 픽업 셔틀 서비스 (제주공항 ↔ 중문관광단지)

자료 : 국토교통부 내부자료 (2020)

3. 자율주행자동차 상용화 전망

미국 보스턴 컨설팅 그룹은 2030년까지 미국을 주행하는 자동차의 전체 주행 거리 중 4분의 1이 자율주행이며, 공유자동차와 자율주행, 전기자동차 보급 등으로 이동 비용이 60% 감소할 것으로 예상하고 있다(다나카 미치아키, 2019). 보스턴 컨설팅 그룹은 최초의 완전 자율주행자동차가 2025년에 판매될 것이며, 2035년이면 새롭게 출시되는 차량의 약 10%에 이를 것으로 예측하고 있다(Boston Consulting Group, 2016).

캐나다 빅토리아 교통정책연구소(Victoria Transport Policy Institute)의 토드 리트먼(Tod Litman)은 기업들이 자율주행자동차의 상용화를 예고하는 2020년에 그렇게 될지라도, 사람들이 현재 보유하고 있는 자동차를 대체하는 과정은 수십 년이 걸릴 것으로 전망하였다. 그럼에도 2020년 판매가 시작된다 할 때 2050년에 자동차 신차 판매의 80~100%를 점유할 것이라고 하였다(Litman, 2015).

[표 2-2] 자율주행자동차의 시장 전망

시기	차량판매점유율(%)		차량구성 점유율(%)		운행차량 점유율(%)	
	상한	하한	상한	하한	상한	하한
2020년	5	2	2	1	4	1
2030년	40	20	20	10	30	10
2050년	100	80	60	40	80	50
2070년	100	100	100	100	100	100

자료 : Litman.,(2015)

국내 산업통상자원부, 국토교통부, 경찰청은 2020년 이후 북미와 유럽, 아시아 태평양 3개 지역의 자율주행자동차 시장의 연평균 성장률을 85%로 내다보고 있다. 또한, 2030년에는 신차 중 자율주행자동차 비율이 40.5%, 2035년에는 75.1%에 이를 것으로 전망하고 있다⁵⁾. 2019년 10월 산업통상자원부에서 발표한 ‘2030 미래 자동차 산업발전전략(2030 국가 로드맵)’에서는 2024년까지 완전자율주행자동차를 출시하고 이를 위한 제도 도입(성능 검증, 보험, 운전자 의무 등)을 완료하고, 2027년까지는 주요 도로에 완전자율주행자동차를 상용화할 계획을 발표하기도 했다.

5) 산업통상자원부, 미래창조과학부, 국토교통부(2016), 경찰청, 자율주행 산업융합 혁신사업.

제3장

선행 연구 고찰

LANDSLIDE
INSTITUTE
CONSULTING

&

제3장 선행 연구 고찰

1. 선행 연구의 접근 방식

1) 선행 연구에서의 기본 아이디어

자율주행자동차는 주로 편리성, 이동 시간 및 이동 중 차량 내 시간 활용에 영향을 미친다. 또한, 운영비용 및 안전성은 도시 및 교통에 영향을 미칠 것이다(Alessandrini, et al., 2015; European Commission, 2016).

자율주행자동차는 처음에는 활동 유형, 여행 횟수 또는 교통수단 선택과 같은 여행 행동에 영향이 있을 것이다. 그러나 장기적으로는 가구와 기업의 입지 선택과 그에 따른 토지이용에 영향을 미칠 가능성이 있다. 또한 주차장의 감소로 인한 변화는 지역 매력도, 토지 가용성, 주택 공급 및 가격, 이동성 및 토지 공급에도 영향이 있다(Moreno, 2017).

2) 선행 연구에서의 연구 방법

자율주행자동차 관련 연구는 주로 통행 기반 모델(trip-based models), 활동 및 에이전트 기반 모델(activity and agent-based models)을 포함한 기존의 교통 수요 모델링 기법(travel demand modelling methods)을 사용하고 있다. 이들 연구는 주로 토지이용에 관한 영향에 집중하고 있다. 통합된 토지이용과 교통모델을 사용하고 있고, 자율주행자동차가 접근성에 미치는 영향에 초점을 맞추고 있다. 그러나 다른 연구에서는 자율주행자동차의 기존 차량 대체와 차량 감소, 주차장 및 이에 따른 토지이용에 대한 영향을 설명하고 있다.

선행 연구에서 분석 단위, 즉 모델 적용 영역은 도시 내 한 지역에서 전국 단위에 이르기까지 다양하다. 대부분의 연구는 실제 네트워크 및 통행 조사 데이터를 기반으로 분석하고 있고, 그것이 어려울 경우에는 가상의 도시 네트워크를 적용하기도 한다.

3) 모델 시나리오 및 변수

선행 연구는 다양한 모델 시나리오와 변수를 통해 자율주행자동차가 도시 및 교통에 미치는 영향을 분석하고 있다.

Spieser et al. (2014)는 공유자율주행자동차(SAV, Shared Autonomous Vehicle)에 의한 개인 소유 차량 모드를 대체할 경우를 분석하고 있으며, Fagnant & Kockelman(2014)는 공유자율주행자동차에 의한 개인차량 중 일부만 대체할 경우를 다루고 있다.

대중교통의 존재/비존재에 기반하여 규칙 기반 모드 선택 모델을 사용하여 교통수단의 분담률을 분석하기도 하고(ITF, 2015), 가격을 변수로 한 공유자율주행자동차 선택 모델을 적용하고 있다(Hörl et al., 2016). 또한, 공유자율주행자동차가 호출 클라이언트에 할당되는 방법으로 차량 디스패치 모델(예 : 선착순 또는 수요공급 균형 디스패치 전략), 차량 재배치에 대한 가정(Fagnant & Kockelman, 2014), 공유자율주행자동차 규모 및 서비스 사용자에게 허용되는 대기시간을 가정하기도 한다. 또한 승차공유(합승)의 경우 유사한 여정을 가진 다른 승객의 합승 시 일어나는 시간손실을 수락한다는 가정도 있다(Zhang, 2017).

특히 대부분의 연구에서 적용하고 있는 가정은 자율주행자동차에 탑승한 사람의 편안함, 생산성 증가로 인한 통행시간 감소 혹은 시간손실 감소(value of time)이다(Childress et al., 2015). 또 다른 일반적 가정은 자율주행자동차로 인한 도로용량의 증가이다(Gucwa, 2014).

4) 분석지표

통행행태 및 토지이용에 대한 자율주행자동차의 영향을 조사하기 위해 여러 지표가 사용되고 있다. 통행행태와 관련해서는 주로 주행거리(VMT) 변화와 교통수단 점유율 변화가 지표로 사용되었다(Hörl et al., 2016). 일부 연구(Childress et al., 2015)에서는 통행시간(VHT)과 같은 지표도 사용되었다.

토지이용과 관련해서는 주차면적 감소 또는 차량 대수의 변화를 사용하고 있다(Zhang et al., 2015; Boesch et al., 2016). 주거지와 기업의 입지 선택에

초점을 맞춘 연구는 대상 지역의 인구 변화(Gelauff et al., 2017) 또는 직업 밀도의 변화(Zhang, 2017)를 분석지표로 사용하고 있다. Zhang(2017)은 가구의 위치에서 중심업무지구(CBD)까지의 거리 변화를 사용하기도 했고, Meyer et al.(2017)은 토지이용을 유추할 수 있도록 지방자치단체의 접근성 변화를 사용하기도 했다.

2. 통행행태에 관한 연구

2.1. 주행거리 관련 연구

주행거리 관련 연구는 대부분 자율주행자동차로 인한 VMT 또는 VKT의 증가를 보여주었다.

개인 소유 자율주행자동차와 관련하여 연구(Auld et al., 2017; Gucwa, 2014; Kim et al., 2015a)는 다른 교통수단으로의 전환 효과로 인해 VMT가 약 15~59% 증가한다고 보고하고 있다. 이 결과는 시간손실 감소, 주차비용의 감소, 자율주행자동차의 높은 시장 점유율이 원인으로 파악된다. 그러나 도로 용량 증가에 따른 VMT의 증가 효과는 약 +1~4%로 그다지 높지 않았다. Kim et al. (2015a)도 미국 애틀랜타 지역을 대상으로 도로 용량의 +50% 변화를 가정하였는데 VMT가 4% 증가에 그쳤다. 대신 50%의 시간손실 감소, 100%의 주차비용 감소에 따른 VMT 증가는 24%를 보였다.

공유자율주행자동차에 대한 연구(Childress et al., 2015; Hörl et al., 2016; Liu et al., 2017) 또한 주로 공유자율주행자동차가 공차 운행 및 다른 교통수단으로의 전환 효과로 인해 VMT를 증가시킨다고 보고하고 있다. 특히 공유자율주행 자동차에 대한 시간손실 감소와 낮은 통행비용을 가정할 때 VMT가 약 35~60% 증가되는 것으로 나타났다. Hörl et al.(2016)의 연구에서는 미국의 Sioux Falls를 대상으로 공유자율주행자동차의 운영비용이 \$0.85이고 시간손실이 현재의 개인 소유 자동차에 비해 65% 감소한다는 가정할 때 VMT가 60% 증가한다고 하였다.

규칙 기반 수단선택 모델(rule-based mode-choice model)을 사용하여 교통

수단별로 통행을 할당할 경우, 개인 소유 차량의 통행을 공유자율주행자동차에 할당된 통행으로 대체한다고 가정한 연구(Chen et al., 2016; Fagnant et al., 2015; Fagnant & Kockelman, 2014; Friedrich & Hartl, 2016; ITF, 2015) 또한 VMT의 증가를 보여주었다. 이 연구는 개인 소유 차량 통행 중 일부분 (1.3~10%)만 공유자율주행자동차로 대체되고, 공차 운행을 가정할 때 VMT는 약 8~10% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 ITF(2015)와 Friedrich & Hartl(2016)은 대중교통의 유무에 따라 교통수단별 통행을 할당하면 모든 자가용 차량을 교체할 때 VKT가 39~89% 증가했다고 보고하고 있다.

또 다른 연구들(Bourghout et al., 2014; Heilig et al., 2016; Martinez & Viegas, 2017)은 공유자율주행자동차를 통해 VMT가 약 10~25%를 감소시킬 수 있음을 제시하기도 했다. Bourghout et al.(2014)는 공유자율주행자동차를 이용하여 모든 출퇴근을 승차공유(합승)로 대체한다고 가정하고, 승차공유로 인해 허용 가능한 이동시간 증가 수준을 +30%~50%로 변화시켜가며 분석한 결과, VKT가 11~24% 감소한다고 하였다. 또 공유자율주행자동차의 마일 당 비용이 높아 통행자가 짧은 이동 거리만을 선택할 경우에도 VMT의 감소가 있을 것이라고 하였다. Childress et al.(2015)는 미국 시애틀 지역에서 공유자율주행자동차가 마일 당 비용이 1.65달러이고 개인차량을 사용하지 않는다고 가정할 때 VMT가 35% 감소할 것임을 제시하였다.

2.2. 교통수단 및 이용 관련 연구

현재 존재하는 교통수단과 자율주행자동차의 경쟁을 모델링하여 교통수단 점유율에 미치는 영향을 조사한 연구는 대부분 자율주행자동차가 대중교통 및 저속의 교통수단(예; 보행, 자전거 등) 점유율을 감소시킬 수 있음을 제시하고 있다.

개인 소유 자율주행자동차의 경우, 특히 시간손실이 크게 감소하고 주차비용 등이 감소하면서 이들 자율주행자동차 소유자들의 대중교통이나 저속의 교통수단 이용이 크게 감소하는 것으로 나타났다(Correia & van Arem, 2016; Kim et al., 2015a; Kröger et al., 2018).

Kröger et al.(2018)은 이종 교통수단간의 결합과 거리 선택 모델을 사용하고 시간손실이 25% 감소한다고 할 때, 운전면허가 없거나, 거동이 불편한 사람들의 대중교통 점유율이 2.6%에서 2.2%로 감소한다는 연구 결과를 제시하였다. 또한, 자동차 점유율은 미국에서 65.6%에서 69.4%로 증가하며 대중교통 점유율이 8.6%에서 7.7%로 감소한다고 보고하고 있다.

마찬가지로, 공유자율주행자동차의 경우에도 대중교통 및 저속의 교통수단 점유율의 감소를 보여주었다. 대중교통의 이용요금이 충분히 낮다는 가정 하에도 마찬가지였다. 그러나 공유자율주행자동차는 개인 소유의 자동차 분담율도 낮추었다. 가령, Boesch et al.(2018)와 Chen & Kockelman(2016)은 공유자율주행자동차의 시간 손실이 오늘날의 승용차 대비 54% 감소하고 이용료가 0.46CHF/km일 때, 대중교통 점유율이 16%에서 12%로 감소하고, 저속 교통수단 점유율이 26%에서 20%로 감소했으며, 개인 소유 자동차 점유율은 48%에서 36%로 감소하고 있음을 보여주었다.

그러나 높은 이용료의 공유자율주행자동차를 가정한 연구에서는 반대로 대중교통 및 저속 교통수단 점유율이 증가를 보여주었다. 높은 비용 때문에 특히 짧은 통행에서는 저속 교통수단을 사용하는 사람들이 많았다(Childress et al., 2015; Heilig et al., 2016). 이때의 대중교통 점유율은 13%에서 17%, 도보 점유율은 22%에서 31%로 증가하였다.

3. 토지이용 및 공간구조에 관한 연구

3.1. 주차장 관련 연구

국제교통포럼의 Luis Martinez(2015)는 수년 동안의 실제 데이터를 바탕으로 이동 패턴을 시뮬레이션 하였는데, 모든 도시 사람들이 공유자율주행자동차를 이용할 경우, 도시 내 도로를 주행하는 차량 수가 90%가 줄어들 것이라는 연구 결과를 제시하였다. 모든 차량을 공유자율주행자동차로 대체하는 경우에 관한 또 다른 연구를 보면, Friedrich & Hartl(2016)은 독일 슈투트가르트(Stuttgart)를 대상으로 한 연구에서 90%에서 93%의 차량 감소 효과를 제시했다.

Bangemann(2017)은 독일 뮌헨을 대상으로 한 연구에서도 91%의 차량 감소라는 연구 결과를 제시했다. OECD ITF(2015)에서도 포르투갈의 리스본(Lisbon)을 대상으로 비슷한 연구를 수행했는데, 여기서는 93% 내외의 주차장 감소와 87~90%의 차량 감소 효과가 있을 것이라고 하였다. 이와 같이 모든 개인 통행을 위해 공유자율주행자동차를 이용할 경우 많은 연구가 비슷한 결과를 보여주고 있다.

공유자율주행자동차에 대해 특정 조건을 주고 차량 감소 효과를 제시한 연구 결과들이 있다. Kormhauser(2013)은 미국의 뉴저지(New Jersey)를 대상으로 한 연구에서 공유자율주행자동차를 특정 승하차 구역에서만 이용할 수 있도록 가정하였는데, 이 연구에서는 차량 감소 효과가 46%에 그친다는 연구 결과를 제시하였다. 싱가포르를 대상으로 한 Spieser, et al.(2014)의 연구에서는 다른 조건 없이 모든 개인차량 통행을 공유자율주행자동차로 대체한다고 가정했음에도 차량 감소 효과는 66%에 그치고 있었다. 같은 조건에서 미국 오스틴(Austin)에서 실험한 연구(Levin et al, 2017)에서도 72%의 차량 감소 효과를 보였다.

Burns et al.(2013)은 미국 안 아버(Ann Arbor)를 대상으로 하루 70마일(약 113km) 이내를 운행하는 자동차 통행만을 공유자율주행자동차로 대체한다고 가정했다. 다시 말해 도시 내 통행만을 대체한 것인데, 여기서는 85%의 차량이 감소하였다.

한편 공유자율주행자동차의 대체 비율이나 혹은 대체 비율에 따른 자동차 감소와 주차장 감소 효과를 제시한 연구들이 진행되어 왔다. 먼저, Liu et al.(2017)은 공유자율주행자동차의 요금에 따른 통행 분담률을 미국 오스틴을 대상으로 구했다. 요금이 개인차량 운행비용과 동일한 \$1.25인 경우에는 13%의 통행 분담률을 보였고, \$0.75인 경우는 15%, \$0.5인 경우는 17%까지 올라가고 있음을 보여주었다.

Zhang et al.(2018)은 가구 내 현재의 개인차량 통행을 공유자율주행자동차가 아닌 모두 자율주행자동차로 대체했을 경우의 차량 감소 효과를 구한 결과, 9.5%의 감소 효과를 보였다. 이것은 자율주행자동차가 목적지에 도착한 후 다른 가족 구성원이 사용할 수 있도록 스스로 이동할 수 있기 때문일 것이다. 다시 말해 세컨드 차량의 필요성이 줄어들기 때문이다.

또 다른 연구는 도시의 통행 중 5%를 공유자율주행자동차가 분담할 경우, 4.5%의 주차장이 감소한다는 연구 결과를 미국 애틀란타를 대상으로 한 Zhang & Guhathakurta(2017)이 자신들의 연구를 통해 주장했다. Chen et al.(2016)은 가상도시를 통해 공유자율주행자동차가 모든 통행 중 10%를 담당한다고 할 때 차량 감소 효과를 연구했다. 그 결과 73%에서 85%의 차량 감소가 있음을 제시했다. Llorca et al.(2017)은 공유자율주행자동차가 20%의 개인 통행을 분담할 때와 40%의 개인 통행을 분담할 때에 대해 독일 뮌헨을 대상으로 시뮬레이션 했고, 그 결과 각각 14%와 28%의 차량 감소 효과를 제시하였다.

3.2. 도로 용량 관련 연구

자율주행자동차는 앞 차량의 가감속 및 정지 등 외부 신호에 즉각적인 반응을 하며, 녹색신호에 의한 출발지연이 없다. 또한, 차량 간격을 1미터까지 좁히면서 정교한 군집주행이 가능하다. 이와 관련하여 많은 연구는 자율주행자동차가 현행 도로의 용량을 크게 늘일 수 있다는 분석 결과를 제시하고 있다.

미시간대학교 자동차 연구센터(Center for Autonomous Research)는 도로에 자율주행자동차만 있다면 도로 용량이 500%까지 늘어날 것이라는 연구 결과를 발표하였다(Fernandez et al., 2012). Bichiou et al.(2018)과 Zohdy et al.(2013)은 교차로와 회전 교차로의 지체는 70~80% 수준으로 감소할 것이라고 하였다. 다시 말하면 교차로의 도로 용량이 20%에서 30%가 증가한다는 것이다.

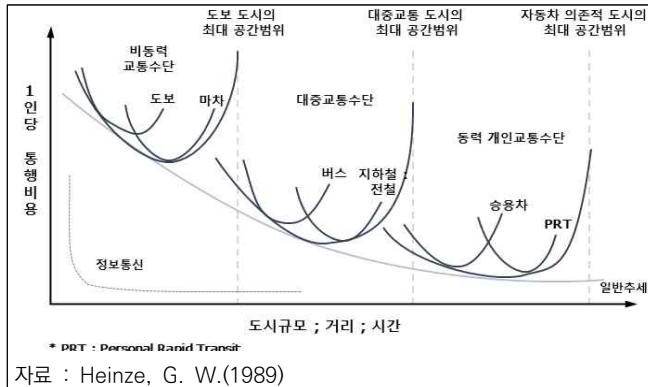
텍사스대학교의 연구 결과는 미국에서 90%의 차량이 자율주행자동차를 이용할 경우 도로 면적을 현재의 두 배 늘리는 효과가 나타날 것이라고 하였다(Pinjari et al., 2013; Daniel et al., 2015). 사우스플로리다 대학의 연구는 자율주행자동차가 50%의 점유하여도 도로 용량은 22% 증가하며, 100% 점유 시에는 도로 용량이 80% 증가할 것이라고 예상하였다. 또다른 연구에서는 차량 간 간격은 인간의 인지/반응시간에 기초하는데, V2V는 이들 간격을 줄일 수 있고, 고속도로의 시간당 용량은 2,200대인데 6,500~9,000대까지 증가할 것이라고 하였다(Qu, 2017).

미국의 PATH 연구소는 V2V 기술을 통해 자율주행자동차는 군집주행 환경에서는 차간 거리가 짧아지고, 좌우 측방여유폭이 작아져 도로 용량을 최대 2.7배 증가시킨다고 발표하기도 하였다(Tientrakool, 2011). 비슷한 연구에서도 2.73배 증가를 예상하였다.

도로 용량이 오히려 감소할 것이라는 반대의 결과를 제시한 연구들도 있다. Meyer et al.(2017)은 고속도로와 비거주지 도로에서만 자율주행을 적용할 경우 도로 용량이 14% 증가할 것으로 예측하였다. 하지만, 모든 도로에서 자율주행 자동차가 다니고, 사람들이 자동차를 소유한다는 시나리오에서는 도로 용량이 부족할 것으로 내다보기도 했다. 그러나 위에서 살펴본 바와 같이 대부분의 연구는 도로 용량이 증가할 것으로 예측하고 있다. 결론적으로 자율주행자동차는 자체의 기술 성능은 물론, V2X 기술과의 결합을 통해 도로에서의 통행량 처리 능력을 높일 것이며, 이런 상황은 기존 도로에 잉여 토지가 나타날 것으로 생각한다.

3.3. 도시 공간 관련 연구

자율주행자동차는 도시의 공간 규모를 더욱 넓혀갈 것이다. 도시 경계를 외곽으로 넓히는 형태로 확장되거나 아니면 위성도시의 형태로 확장될 것이다. 이에 대한 근거로 Heinze(1989)의 이론을 들 수 있다. 그는 도시의 공간 규모를 개인의 통행비용을 통해 설명한 적이 있다. 이동 시간이 길어지면 개인의 통행비용은 증가하는데, 단위 이동시간에 대해 통행비용은 보행에서 마차, 그리고 버스와 철도, 자동차로 가면서 감소한다는 것이다. 따라서 도시의 규모가 커질 수 있다는 것이다. 차 내에서 업무와 개인용무를 볼 수 있는 자율주행자동차는 다른 어떤 교통수단보다 통행비용이 낮아지게 되고, Heinze의 이론에 따르면 결국 도시 규모는 지금보다 더 커질 수밖에 없다. 도시 공간의 확장은 자율주행자동차의 이동 자유도가 다른 이전 교통수단들을 크게 뛰어넘는다는 점에서 상식적으로도 상상할 수 있는 미래이다. 이동의 자유도가 크게 높아지면서 사람들의 거주지 역시 도시 중심에서 벗어나 도시 외곽의 조용한 평화로운 곳을 찾게 될 것이다. 도시 중심에서 멀어져 있어도 이동에 소요되는 통행비용이 낮아 불편 비용이 높지 않기 때문이다.



[그림 3-1] 교통수단에 따른 도시 규모

자율주행자동차 시대의 도시 공간의 변화에 대한 연구로 Zhang(2018)의 연구가 주목할만하다. Zhang(2018)은 몬테카를로 시뮬레이션과 UrbanSim을 기반으로 한 모델을 통해 공유자율주행자동차의 통행비용의 변화를 통해 도시 인구와 Job의 밀도 변화를 분석하였다. 그의 연구에 따르면 직장인들은 직장까지의 이동 거리는 약 4.7마일 멀어질 것이라고 한다. 다만, CBD로부터 중간 거리(4.7마일)에서 청년 계층 가구는 7%~10% 증가하고, 고령계층은 오히려 2%~7% 감소하는 것으로 제시하였다. 이런 경향은 직업에서도 비슷하여 도시 내 직업 밀도는 1.8~17.5% 감소하고, 외곽지역에서 0.2~9.8% 증가를 제시하고 있다.

Gelauff et al.(2017)은 대도시 인구는 1% 감소하고 외곽지역은 1% 증가한다고 하였다. Thakur et al.(2016)은 통행시간이 줄고, 공유자율주행자동차를 100% 이용한다는 전제 하에 인구의 변화를 분석하였다. 이 연구는 통행시간 감소에 따른 도심 인구는 1% 감소, 교외 인구는 2.5% 증가한다는 분석 결과를 제시하였고, 공유자율주행자동차를 이용할 때는 외곽보다는 도심에서 5~15km 떨어진 곳에서 인구가 1.2% 증가하고, 외곽 인구는 오히려 3% 감소한다고 하였다.

Zhang(2018)과 Thakur(2016)의 연구 결과를 볼 때, 사람들은 공유자율주행 자동차를 원거리에서 이용하는 것에 대한 부담이 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 공유자율주행자동차가 개인 소유 자율주행자동차에 대해 어느 정도의 거리까지 통행 비용이 낮게 나타나는지를 찾는 것이 중요할 것으로 판단된다.

3.4. 주거지와 기업의 입지 관련 연구

주거지 선택과 관련하여 개인 소유 자율주행자동차의 영향과 관련한 연구는 접근성이 향상되고 멀리 떨어진 교외 지역과 농촌 지역에서 인구가 증가할 것으로 보고 있다. 특히 시간손실 감소, 도로 용량의 증가, 이동 시간의 감소를 가정할 때 도시 공간의 확산과 분산된 구조로 개발될 것으로 나타났다.

Thakur et al.(2016)은 2046년 호주 멜버른 지역의 통행행태 및 주거지 위치 선택 연구에서 현재의 자동차에 비해 개인 소유 자율주행자동차의 시간손실이 50% 감소했다고 가정하였는데, 그 결과 도시 내부의 인구가 4% 감소하고 외곽 교외의 인구가 3% 증가한다고 제시하였다.

공유자율주행자동차에 대한 연구는 주로 공유자율주행자동차가 도시의 무분별한 확장을 억제할 수 있다고 보고하고 있지만, 일부 연구 그룹은 농촌 지역의 접근성이 높아져 더 멀리까지 확장될 수 있다고도 하고 있다. Zhang(2017)은 미국 애틀랜타 지역의 주거지 위치 선택에 대한 공유자율주행자동차의 영향을 조사했는데, 노인 계층은 주거지에서 CBD까지의 거리가 2~7% 감소했지만, 이하 연령대에서는 오히려 증가한다고 보고하고 있다. 반면 모든 개인차량 통행을 공유자율주행 자동차로 대체하지만, 이동시간의 차이가 없을 때는, 오히려 도시로의 인구 집중이 나타난다고 하였다. Thakur et al.(2016)은 같은 가정 하에서 도시 내부는 인구가 4% 증가하는 반면 외곽 교외 지역의 인구는 3% 감소한다고 하였다.

마찬가지로, 더 효율적인 대중교통 시스템을 가정할 때는 도시화 프로세스에 대한 성향이 나타나고 있다. Gelauff et al.(2017)은 네덜란드의 통근 교통수단 선택뿐만 아니라 집과 직장 위치의 모델링에 초점을 맞추고 이동 시간을 20% (현재의 자가용과 비교하여) 단축한다고 가정하였다. 그 결과 대중교통뿐만 아니라 열차의 접근 시간이 50% 감소했다. 그들은 대도시의 인구가 3% 증가하고, 소도시 교외의 인구가 3%, 비도시 지역의 인구가 2% 감소한다고 하였다.

기업의 위치 선택에 대한 자율주행자동차의 영향과 관련하여, 공유자율주행 자동차가 시간손실의 감소와 주차공간의 감소를 가정했을 때, 도시의 탈산업화에 기여하는 것으로 보인다. Zhang(2017)은 위와 동일한 가정을 사용하면서 공유

자율주행자동차의 이용요금을 마일 당 \$0.13~\$0.5로 할 때, 도심의 주차공간은 90% 감소하고 일자리 밀도는 1.8~17.5% 감소한다고 하였다. 도심 부분에서 건설이나 제조와 같은 2차 산업은 교외 지역에서 0.2~9.8% 증가하였다. 서비스나 공공 서비스와 같은 3차 산업의 경우는 도시 내부의 일자리 밀도가 0.3~11.8% 증가하고 교외 지역은 2.5~7.8% 감소하는 것으로 나타났다.

4. 시사점

연구 결과는 자율주행자동차가 대부분 VMT를 증가시키고 대중교통 및 저속 교통 수단을 감소시키는 것으로 나타났다. 높은 비율의 공유자율주행자동차는 현재 여행 수요를 처리하는 데 필요한 차량 수를 크게 줄일 수 있으며, 특히 승차공유를 가정 할 때는 필요한 주차공간이 줄기 때문에 줄어드는 공간을 다른 용도로 활용할 수 있다.

주거지와 기업의 입지 선택과 관련하여, 선행 연구는 주로 개인 소유의 자율주행자동차가 교외 및 농촌 인구 증가, 그리고 분산된 도시 성장 패턴을 보여주고 있었다. 그러나 승차공유와 효율적인 대중교통 시스템과 결합된 공유자율주행 자동차는 반대로 도시 지역의 인구 증가로 이어진다고 하고 있다. 다만 이들 연구는 도시와 교외 지역 만 구분하고 있어 지나치게 단순화된 결과일 수 있으며 더 복잡한 패턴이 발생할 수 있음을 고려해야 할 것이다.

선행 연구의 대부분은 통행행태 및 토지이용에 대한 자율주행자동차의 영향이 가정에 크게 의존한다는 것을 확인할 수 있었다. 자주 사용되었던 가정은 공유 자율주행자동차로 대체되는 통행 비율과 이용자의 대기시간, 시간가치의 변화, 도로 용량의 증가 및 자율주행자동차의 보급률 등이었다.

특히 초기 연구는 공유자율주행자동차 도입 후 통행 패턴이 변하지 않을 것이라는 가정을 기반으로 여행 행동에 미치는 영향을 조사한 반면(Zhang, 2017), 공유 자율주행자동차, 개인 소유 자율주행자동차 또는 둘의 혼합에 관한 최근 연구는 주로 수단(mode)선택 모델을 사용하고 있음을 알 수 있었다. 소수의 연구만이 새로운 사용자 그룹, 즉 어린이/청소년, 운전면허가 없는 성인 또는 거동이

불편한 사람들을 위한 자율주행자동차의 통행행태 변화를 고려하기도 했다(Kröger et al., 2018).

자율주행자동차에 따른 시간가치 감소에 대한 가정이 도로 용량 증가 또는 이용 요금에 대한 가정보다 영향에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Boesch et al., 2018). 또한, 공유자율주행자동차가 통행행태에 미치는 영향에 대해 특히 대기시간 및 통행시간 측면에서 공유자율주행자동차 승객이 수락하는 서비스 수준에 관한 가정이 중요한 역할을 하였다. 이들 연구에서는 승객이 픽업하는데 허용하는 대기시간을 평균 약 3분에서 8분으로 가정하고 있었다. 승차공유(합승)의 경우 허용 가능한 이동 시간 증가도 역할을 하였다(Fagnant & Kockelman, 2014; Llorca et al., 2017; Burghout et al., 2014). Chen et al.(2016)은 전기 공유 자율주행자동차를 가정 할 때 충전 프로세스가 중요함을 제시하기도 했다.

[표 3-1]은 지금까지의 선행 연구 결과를 연도별로 제시하였다.

[표 3-1] 자율주행자동차와 관련한 주요 선행 연구 요약

저자	연구 대상 지역	분석모델	시나리오/가정	주요 연구 결과
Burns et al. (2013)	미국, 앤 아버	Analytical and Simulation model (Queuing and simulation model)	1일 70mile/h 미만으로 운행하는 차량 통행을 SAV로 대체 - SAV 대기시간은 2분 이내 - 지역 20만 명의 차량 소유자 중 12만 명이 대상	- 차량 대수 85% 감소 - SAV 이용 시 비용 감소 - 주차소유 시 \$21/일 (주차비와 운전 시 사용되는 시간 비용 포함 시 \$50/일) - SAV 이용 시 \$8/일 (업무전용 시 \$2/일) - 이용자 12만 명을 위해 1.8만 대의 SAV 필요 - 총 52.8만 통행 발생 (4.4 통행/차량/일)
Kornhauser (2013)	미국, 뉴저지	Activity-based model	개인차량 100% SAV 대체	차량대수 46% 감소
Bourghout et al. (2014)	스웨덴, 스톡홀름	Hybrid micro and mesoscopic traffic simulation model	- 시나리오1 - 자가용을 이용하는 출퇴근 통행을 SAV가 대체 (단 직장에서의 술집 등의 통행은 제외) - 차량의 통행속도는 자유 통행속도의 75% 수준 - 도시 내 통행 한정	- VKT(총통행거리) 24% 증가 - 차량대수 92% 감소

			• 시나리오2 - 자가용을 이용하는 출퇴근 통행을 SAV가 대체 - 통행시간 30~50% 증가를 수용	• VKT 11~24% 감소 • VMT(총통행시간) 13~25% 증가 • 차량대수 95% 감소
Fagnant and Kockelman (2014)	미국, 가상도시	Agent-based model	• 현재 통행량의 3.5% 가 SAV로 대체	• VMT 11% 증가 • 차량대수 91% 감소 • SAV 차량 당 일일 31~41 이용자 서비스 (31~41인/차량/일)
Spieser et al. (2014)	싱가포르	Design-oriented approach with measurable travel characteristics	• 개인차량 100% SAV 대체	• 차량대수 66% 감소 • 단 SAV 250,000대 기준으로 침두시간 시 서비스 이용 대기시간이 30분 정도이므로 서비스 수준에 대한 문제 고려 필요
Fagnant et al. (2015)	미국, 오스틴	Agent-based model	• 도시 중심지 통행의 1.3%를 SAV가 대체 (참고, 중심지에서 요청받은 통행의 56%는 중심지의 다른 지역이 목적지) • 57,161명의 10만 통행 선별 • 서비스 이용 대기시간 최대 10분 • 개인 및 상업적 목적 통행만 대상 • 지역존에 기초한 통행 테이블을 사용하여 가상의 통행 생성	• 빈 차 운행으로 VMT 8% 증가 • 1,977대의 SAV 필요 (28.5 통행/차량) • SAV 1대당 일반 차량 약 9.34대 대체
ITF (2015)	포르투갈, 리스본	Agent-based model	• 시나리오 1: 차량 통행 100%를 SAV가 대체 (카셰어링 또는 카풀)	• 카풀 시 VKT 6~22% 증가 • 카셰어링 시 44~89% 증가 • 카풀 시 차량대수 87~90% 감소 • 카셰어링 시 차량대수 77~83% 감소 • 카풀시 주차장 92~94% 감소 • 카셰어링 시 주차장 84~89% 감소
			• 시나리오 2: 모든 차량 통행 중 50%를 SAV가 대체(카셰어링 또는 카풀)	• 카풀 시 VKT 29~60% 증가 • 카셰어링 시 50~90% 증가 • 카풀 시 차량대수 2.4% 증가 (대중교통 이용 불가능) 또는 21% 감소 (대중교통 이용 가능) • 카셰어링 시 차량대수 7.0% 증가 (대중교통 이용 불가능) 또는 18% 감소 (대중교통 이용 가능) • 카풀 시 주차장 25% 감소 (대중교통 이용 가능) • 카셰어링 시 주차장 21% 감소 (대중교통 이용 가능)

Kim et al. (2015)	한국, 서울	Agent-based model	• AV 비율 100%	• 자율주행을 도입하면 도심에서 먼 곳에 대한 접근성이 향상되어 상대적으로 주요 도로 중심의 도심에 집중되는 현상이 완화됨
Zhang et al. (2015)	미국, 가상도시	Agent-based model	• 차량통행의 2%를 SAV로 대체	• 주차장 90% 감소
Bischoff and Maciejewski (2016)	독일, 베를린	Agent-based model	• 개인차량 100% SAV 대체 (Automated taxi) • 베를린의 총 4.7백만 통행 중 시내통행 2.5백만 통행이 대상 • 50,000~250,000대 사이의 최적 AT 대수 선택 • 차량운영 비용 최소화, 차량 대수 최소화, 빈차 운행 최소화 전략 • 차량수요를 분산시키기 위해 이용 비용 조정 • 수요 변화 1~10% (1%간격 증가) • AV차량 공급 10~100% (10%간격 증가) • 추가로 AV 차량 공급 5%, 15%, 25%, 35% 고려 • 총 시나리오 140종	• 주차장 91% 감소 • SAV 차량 당 10~12대의 차가용 대체 효과 • 평균 대기시간 2.5분(최대 15분)
Boesch et al. (2016)	스위스, 취리히	Agent-based model	• 10% 수요와 10% SAV 차량 • 95%의 이용 요청을 5분 이내에 서비스 제공 • 주중 1일(30시간) • 취리히를 통과하는 모든 통행	• 366,124 통행을 위해 3,083 SAV 필요 • 70.3%의 요청을 5분 이내 서비스(25.9%는 10분 이내 서비스) • 3.8%의 요청은 서비스받지 못함 • 평균 통행시간 18.66분(현재 평균 통행시간 19.70분) • 30.8%의 SAV차량이 사용되지 않음 • 95%의 통행이 40km 이내 운행 • 차량당 일 평균 26.9번 운행 • SAV 운행시간의 68.1%를 이용자 대기과 다음 서비스를 위한 대기에 소비
Chen et al. (2016)	미국, 가상도시	Discrete-time Agent-based model	• 시나리오1: 차량통행의 10%를 SAV로 서비스	• 빈차운행으로 VMT 7% 증가 • 차량대수 87% 감소
			• 시나리오2: 차량통행의 10%를 전기 SAV로 서비스(충전시간과 1회 충전 시 이동거리 고려)	• 빈차운행으로 VMT 7%~14% 증가 • 차량대수 73%~85% 감소

Chen and Kockelman (2016)	미국, 가상도시	Discrete-time Agent-based model	• 시간가치(VOT) 65% 감소 • 전기 SAV 운영비용 \$0.85/mile • 충전시간과 1회 충전 시 이동거리 고려 • 대중교통, SAV, 자가용 동시 고려	• 수단분담률 - 자가용 60.8%, SAV 27.1%, 대중교통 12.1% • 승용차 수단분담 25%p 감소 • 대중교통 이용 3%p 감소 • SAV 8.4만대로 3.9백만 통행 서비스 가능(45.9통행/대)
Correia and van Arem (2016)	네덜란드, 델프트	Mode choice model	• 시나리오1: 일반 가구 소유 자동차만 AV로 대체	• VMT 17%증가 • 승용차 수단분담 3%p 증가
			• 시나리오 2 - 일반 가구 소유 자동차만 AV로 대체 - AV 이용 시 VOT 50% 감소	• VMT 49% 감소 • 승용차 수단분담 9%p 증가
Fagnant and Kockelman (2016)	미국, 오스틴	Agent-based model	• 시나리오 1 - SAV 차량 1,715대 - 도시 중심지 통행의 1.3%를 SAV가 대체(56,324통행) - DRS(Dynamic Ridesharing System) 미사용 - 카풀 이용 시 수용 대기시간 20% 증가	• VMT 9% 증가 • 비첨두시간 최대 대기시간 9분 • 동승비율 0%
			• 시나리오 2 - SAV 차량 1,715대 - 도시 중심지 통행의 1.3%를 SAV가 대체(56,324통행) - DRS(Dynamic Ridesharing System) 사용 - 카풀 이용 시 수용 대기시간 20% 증가	• VMT 4.5% 증가 • 비첨두 시간 최대 대기시간 4.5분 • 동승비율 11%
			• 시나리오 3 - SAV 차량 1,715대 - 도시 중심지 통행의 1.3%를 SAV가 대체(56,324통행) - DRS(Dynamic Ride sharing System) 사용 - 카풀 이용 시 수용 대기시간 40% 증가	• VMT 1.5% 증가 • 비첨두 시간 최대 대기시간 5분 • 동승비율 21%
Friedrich and Hartl (2016)	독일, 슈투트가르트	Macro and microscopic travel demand model	• 모든 통행을 SAV(카셰어링)가 대체	• VMT 18~39% 증가 • 차량 대수 77~81% 감소 • 주차면 77~83% 감소
			• 모든 통행을 SAV(카풀)가 대체	• VMT -20%~36% 변화 • 차량 대수 90~93% 감소 • 주차면 90~93% 감소

Hörl et al. (2016)	미국, 수폴스	Agent-based model	- 시간가치(VOT) 65% 감소 - SAV(AT) 운영비용 \$0.85/mile 1,000 AT 제공	- VMT 60% 증가 - 자가용 수단분담 20%p 감소 - 대중교통 수단분담 10%p 감소 - 보행 수단분담 8%p 감소 - SAV 수단분담 37%
Thakur et al. (2016)	호주, 멜버른	Land Use and transportation Interaction model	- 시나리오1: VOT 50% 감소 - 시나리오1: SAV 100% 전환 - 시나리오3: - VOT 50% 감소 - SAV 100% 전환	- 도심(30km반경) 인구 1% 감소 - 외곽인구 2.5% 증가 - 도심인구 1.2% 증가 - 외곽인구 3% 감소 - 도심인구 1.2% 증가 [단, 증가의 상당수는 도심 중에서도 중간 정도 거리 (CBD에서 5~15km 정도)에서 발생] - 외곽인구 3% 감소
Auld et al. (2017)	미국, 시카고	Activity-based travel demand model	- 시나리오1: - 도로 용량 12~77% 증가 - 시나리오2: - VOT 25~75% 감소 - AV 비율 20% - 시나리오2: - VOT 25~75% 감소 - AV 비율 75% - 시나리오3: - 도로 용량 77% 증가 - VOT 75% 감소 - AV 비율 100% - 시나리오4: - 도로 용량 12% 증가 - VOT 50% 감소 - AV 비율 50%	- VMT 1%~4% 증가 - VHT 1.1%~8.3% 감소 - VMT 2~18% 증가 - VHT 4.7~29.1% 증가 - 평균통행속도 21.5분에서 27.9분으로 증가 - VMT 12.4~59% 증가 - VHT 22~361% 증가 - 평균통행속도 21.5분에서 74.8분으로 증가 - VMT 78% 증가 - VHT 180% 증가 - 평균통행속도 21.5분에서 70.5분으로 증가 - VMT 21% 증가 - VHT 29% 증가 - 평균통행속도 21.5분에서 28.1분으로 증가
Bangemann (2017)	독일, 뮌헨	Microscopic travel demand model	모든 개인차량을 전기 SAV로 대체(충전시간과 1회 충전 시 이동거리 고려)	- VMT 14% 증가 - 차량대수 91% 감소
Heilig et al. (2017)	독일, 슈투트가르트	Agent-based travel demand model	- 기존 자가용 통행을 모두 자율주행 온디맨드 서비스(AMOD)로 대체 - 차량당 1.64명 탑승 가정 - 차량 당 최대 4명 공유가능 - 요금은 자가용 운영 비용 대비 70%	- VMT 20% 감소 - 차량대수 85% 감소 (22만대의 AMOD 차량으로 2백만 통행 처리) - 보행 수단분담 8% 증가 - 대중교통 수단분담 2% 증가 - 공유 대중교통 4% 증가 - 공유 자전거 이용 5% 증가 - 동승자로 AMOD 이용 27%증가(수단분담 기준 39%)

Levin et al. (2017)	미국, 오스틴	Cell transmission model based dynamic network loading simulator	• 시나리오 1 : AV 비율 100% • 도심 공간만 대상 • 오전 첨두 2시간	• 평균 통행시간 15.24분에서 4.12분으로 감소 • 통행거리는 큰 변화 없음 • 차량대수 감소 42~58% (기존 승용차 운행 수준 유지 가능)
			• 자가용 통행을 모두 SAV로 대체 • Dyanmic ride-sharing 적용 • 도심 공간만 대상 • 오전 첨두 2시간	• SAV 2,000대로 최적 서비스 제공 가능 (31.4명/차량) • 평균 통행시간 6.46분
Martinez and Viegas (2017)	포르투갈, 리스본	Agent-based model	• 시나리오 1: - 모든 차량 통행을 SAV(S-Taxi)로 대체 - 비교 교통수단은 철도 및 지하철, S-Taxi, 보행	• VKT 25% 감소 • 자가용 95% 감소 • 개인승용차 대수의 5% 수준의 S-taxi 대수로 수요 충족 가능
			• 시나리오2: - 모든 차량 통행을 SAV와 택시서비스로 대체(*택시서비스는 8~16 인승이며, 정해진 지점에서 승차) - 비교 교통수단은 철도 및 지하철, S-Taxi, 택시서비스, 보행	• VKT 29% 감소 • 자가용 97% 감소 • 개인승용차 대수의 3% 수준의 S-taxi와 택시서비스 대수로 수요 충족 가능 • 수단분담 비율: 보행 22.7%, 철도 및 지하철 19.4%, S-Taxi 28.7%, Taxi-bus 29.3%
Liu et al. (2017)	미국, 오스틴	Agent-based model	• 시나리오1: - VOT 50% 감소 - SAV 운영비용 \$0.5/mile	• 빈차운행 VMT 7.8% 증가 • 자가용 대체율 5.6대 • 전체 통행 중 이용 요청 비율 50.9% • 전체 통행인구의 18% 처리
			• 시나리오2: - VOT 50% 감소 - SAV 운영비용 \$0.75/mile	• 빈차운행 VMT 12.1% 증가 • 자가용 대체율 6.7대 • 전체 통행 중 이용 요청 비율 12.9% • 전체 통행인구의 15% 처리
			• 시나리오3: - VOT 50% 감소 - SAV 운영비용 \$1/mile	• 빈차운행 VMT 14.2% 증가 • 자가용 대체율 7.7대 • 전체 통행 중 이용 요청 비율 10.5% • 전체 통행인구의 13% 처리
			• 시나리오4: - VOT 50% 감소 - SAV 운영비용 \$1.25/mile	• 빈차운행 VMT 14.2% 증가 • 자가용 대체율 7.7대 • 전체 통행 중 이용 요청 비율 9.2% • 전체 통행인구의 13% 처리
Llorca et al. (2017)	독일, 헨	Agent-based model	• 시나리오1: 개인 승용차 통행의 20%를 SAV가 대체	• VMT 5% 증가 • 차량대수 14% 감소
			• 시나리오2: 개인 승용차 통행의 40%를 SAV가 대체	• VMT 7% 증가 • 차량대수 28% 감소

Zhang and Guhathakurta (2017)	미국, 아틀란타	Agent-based travel demand model	• 공통조건 - 전체 통행의 5%를 SAV가 대체 (32,365통행) - 카셰어링의 운영비용 \$0.5/분 - 카풀(ridesharing)의 운영비용 \$0.3/분	
			• 시나리오 1: 주차비용 무료	• 주차면 90.3% 감소 • 주차공간 수요 도심에 집중 • 빈차 VMT 비율이 전체 VMT 대비 60%
			• 시나리오 2: 주차 1회당 \$20	• 주차면 91.4% 감소 • 주차공간 수요는 도심을 제외한 도시에 골고루 분포 • 빈차 VMT 비율이 전체 VMT 대비 70%
			• 시나리오 3: 시간당 주차비용 \$10	• 주차면 92.4% 감소 • 주차공간 수요는 토지가격이 싼 지역에 집중 • 빈차 VMT 비율이 전체 VMT 대비 95%
Zhao and Kockelman (2017)	미국, 오스틴	Travel demand model (4단계 수요추정법 기반)	• 공통조건 - 이용 가능 교통수단: 자가용, CAV, SAV, 버스 - 기본 VOT: 자가용 \$15.83, AV \$7.92, 버스 \$8.14	
			• 시나리오1 - AV의 VOT 25~75% 감소 - CAV의 운영비용 1\$/mile - SAV의 운영비용 1.5\$/mile	• VMT 18~41% 증가 • VOT의 감소율이 증가할수록 CAV와 SAV의 운행이 증가함 (CAV가 SAV 보다 2배 이상 선호됨)
			• 시나리오2 - AV의 VOT 50% 감소 - CAV 주차비용 50~100% 감소 (자가용 대비) - AV의 운영비용 1\$/mile - SAV의 운영비용 1.5\$/mile	• VMT 26% 증가 • 주차요금 50% 감소의 경우 자가용 운행 비율은 21.4% • 주차요금 100% 감소의 경우 자가용 운행 비율은 2.6%
			• 시나리오3 - AV의 VOT 50% 감소 - CAV와 SAV의 운영비용 \$1/mile	• VMT 28% 증가 • VMT 기준 수단별 비율: - 자가용 19.8% - CAV 51.0% - SAV 29.2%

			• 시나리오3 - AV의 VOT 50% 감소 - CAV와 SAV의 운영비용 \$1.5/mile	• VMT 29% 증가 • VMT 기준 수단별 비율: - 자가용 23.3% - CAV 48.7% - SAV 28.0%
Gelauff et al. (2017)	네덜란드	Land Use transportation interaction model	• 시나리오1 - 자가용과 대중교통 모두 자율주행 - 15km 이상 운행 통행에 대해 통행시간과 VOT 5% 감소	• 비 도시지역 인구 0.2% 증가 • 도시지역의 인구 감소 최대 0.5% 정도(비 Randstat 지역 주요 도시)
			• 시나리오1 - 자가용과 대중교통 모두 자율주행 - 모든 통행의 통행시간과 VOT 20% 감소 - 대중교통이 자가용보다 통행시간 20% 큼	• 대도시 인구 1% 감소 • 비 Randstat 주요 도시인구 2.5% 감소 • Randstat 외곽인구 0.1% 증가 • 비 도시지역 인구 1% 증가
Meyer et al. (2017)	스위스	Travel demand model (macroscopic)	• 시나리오1: - 고속도로와 비거주지 도로에만 AV 적용	• 도로 용량 최대 14% 증가
			• 시나리오2: - 모든 도로에 AV 적용 - 차량 개인 소유	• 노인과 어린이에 의한 통행수요 16% 증가 • 빈 차 운행 통행수요 53% 증가 • 다수지역에 도로 용량 부족 발생
			• 시나리오3: - 모든 도로에 AV 적용 - 차량 공유	• 대중교통 수요 흡수(도시지역 최대 180%) • 도로 용량 1.4~10.3% 증가
Zhang (2017)	미국, 아틀란타	Agent-based model (with Monte Carlo simulation and UrbanSim)	• 시나리오1: - SAV 100% - VOT 100% 감소 - SAV의 운영비용 \$0.3/mile	• 젊은층의 주거지에서 도시중심 지역까지 이동 거리 7~10% 증가 • 노인층의 주거지에서 도시중심 지역까지 이동 거리 2~7% 감소
			• 시나리오2: - SAV 100% - VOT 100% 감소 - SAV의 운영비용 \$0.13~\$0.5/mile - 주차공간 90% 감소	• 도심의 일자리 밀집도가 1.8~17.5% 감소 • 외곽지역의 일자리 밀집도가 9.8% 증가
Auld et al. (2018)	미국, 시카고	Activity-based travel demand model	• 시나리오1: - 소비자가 지불해야 하는 (WTP) AV 기술 비용을 \$0, \$5,000, \$15,000으로 세분	• \$0원: AV 혼입률 100% • \$5,000원: AV 혼입률 47.8% • \$15,000원: AV 혼입률 13.4%
			• 시나리오 2: - 시나리오 1의 각각의 WTP를 기준으로 VOT를 0%, 30%, 50% 감소 적용	• VOT 0% 변화 시 VMT 6~8% 증가 • VOT 30% 감소 시 VMT 15~24% 증가 • VOT 50% 감소 시 VMT 21~43% 증가

Boesch et al. (2018)	스위스, 추크	Agent-based model	• AV의 VOT 38% 감소 • SAV의 VOT 54% 감소 • 개인용 AV의 운영비용 25% 증가(0.22CHF/km) • 자율주행 대중교통 (APT)의 운영비용 50% 감소 (0.13CHF/km) • SAV의 운영비용 50% 감소 (0.46CHF/km)	• 자가용 수단분담 12%p 감소 • 대중교통 수단분담 4%p 감소 • 저속교통 수단분담 16%p 감소 • 자율주행서비스 만으로는 교통시스템 항상 어려움 • 자율주행기반 대중교통의 영향이 긍정적(요금 감소)
Kröger et al. (2018)	독일과 미국	Aspatial travel demand model	• 시나리오1 - AV의 VOT 25% 감소 - AV 혼입률 7.5%	• VKT 3.4% 증가 • 승용차 수단분담 1.3%p 증가 • 대중교통 수단분담 0.2%p 감소
			• 시나리오2 - AV의 VOT 25% 감소 - AV 혼입률 29.3%	• VKT 8.6% 증가 • 승용차 수단분담 3.8%p 증가 • 대중교통 수단분담 0.4%p 감소
			• 시나리오3 - AV의 VOT 25% 감소 - AV 혼입률 10.1%	• VKT 2.4% 증가 • 승용차 수단분담 1%p 증가 • 대중교통 수단분담 0.3%p 감소
			• 시나리오4 - AV의 VOT 25% 감소 - AV 혼입률 37.6%	• VKT 8.6% 증가 • 승용차 수단분담 3.7%p 증가 • 대중교통 수단분담 0.9%p 감소
Zhang et al. (2018)	미국, 아틀란타	Activity-based travel model	• 이용수요 고정 • 차량은 가족만 공유 • AV 100%	• 반차 운행 VMT 13.3-17.3% 증가 • 차량 대수 감소는 통행시간 자체 수용 수준에 따라 9.5-12.3% 감소 • 도시외곽 지역의 도로 V/C가 도심지역보다 1~2%p 높음

※ AV: Autonomous Vehicle,
 SAV: Shared Autonomous Vehicle,
 VKT: Vehicle Kilometers Traveled,
 VMT: Vehicle Miles Traveled,
 VHT: Vehicle Hours Traveled
 VOT: Value of Time

제4장

시뮬레이션을 활용한 도로 용량 및 차로 감소 효과 분석

LANDSLIDE
INITIATION

&

제4장 시뮬레이션을 활용한 도로 용량 및 차로 감소 효과 분석

1. 시뮬레이션 분석 개요

1.1. 시뮬레이션 분석 목적

자율주행자동차는 사람이 운전자일 때 발생하는 앞 차량의 가·감속 및 정지, 신호 변화의 인지와 반응 등에 의한 출발 지연, 도로에서의 군집주행 등 다양한 기술적 장점이 있다. 제3장에서 살펴본 바와 같이 선행 연구는 일반적으로 자율주행자동차가 도심 지역 도로 용량을 20~30% 정도 증가시킬 것으로 전망하고 있다. 다수의 선행 연구는 고속도로와 같은 연속류를 중심으로 하고 있으며, 수단선택 측면에서 자율주행자동차의 효과를 연구하였다. 본 연구는 도시 내의 통행 흐름이 주요 연구 대상이다. 실제 도시 내 통행은 고속도로 통행과 달리 다양한 외부 요인이 자율주행자동차의 효과에 영향을 줄 것으로 예상된다.

더욱이, 자율주행자동차의 확장은 점진적으로 이루어질 것이므로, 도시계획 측면에서는 혼입 비율의 단계적 변화와 교통수요의 변화를 고려할 필요가 있다. 실제로 도로를 줄이는 것이 가능한지, 가능하다면 어느 수준에서 가능할지를 예측할 필요가 있다.

본 연구는 자율주행자동차가 도시 내에서 교통흐름과 도로 용량 측면에서 어느 정도 영향이 있는지 시뮬레이션을 활용하여 분석하였다. 시뮬레이션 분석 목적은 다음의 3가지로 요약할 수 있다.

- 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차량흐름 상태와 도로 용량 변화
- 자율주행자동차 혼입 비율 및 교통량 변화(증가)에 따른 차량흐름 상태 변화
- 자율주행자동차 혼입(50%)과 완전자율주행자동차 시대(100%)의 도로 다이어트(road-diet) 가능성 분석

1.2. 분석 대상지 및 자료 수집

1.2.1. 분석 대상지

시물레이션 분석 대상지는 경기도 성남시 분당구의 특정 구간을 선택하였다. 분석 구간은 다음의 세 가지 기준에 따라 선정하였다.

- 다양한 도로(차로수 기준)를 모델링 할 수 있는 구간
- 분당구의 교통흐름을 대표할 수 있는 구간
- 연구 기간 내 자료 조사와 모델링이 가능한 공간적 넓이

이상의 세 가지 기준에 따라 [그림 4-1]과 같이 13개 교차로를 포함하는 구간을 분석 대상 지역으로 선정하였다.

분석 대상지역 선정을 위해 먼저 위성사진을 통해 후보지역을 특정하고 일 교통량과 도로 차로수를 조사하였다. 이후 현장 방문을 통해 최종적으로 분석 대상 지역을 선정하였다.

본 연구에서 선정한 지역은 경기도 성남시 분당구의 주 간선도로를 포함하고 있으며, 주변에 주거지역과 상업시설이 잘 발달한 지역이다. 제1기 신도시의 특징을 잘 보여주는 곳이다.



[그림 4-1] 분석 대상 구간 현황

1.2.2. 교차로 및 차로 구성

시뮬레이션 대상 구간에 포함된 13개 교차로는 [표 4-1]과 같이 3지 교차로 1개와 4지 교차로 12개로 총 13개의 교차로로 구성되어 있다. ⑤-1은 교차로는 아니지만, 보행자 횡단보도로 인해 교통신호등이 설치되어 있다. 간선도로에 위치하고 있으며, 통행에 영향이 큰 구간이라 신호현시 자료를 수집하기 위해 포함하였다.

도로의 차로수는 편도 1차로부터 5차로까지 분포되어 있다. 차로별 구성 비율은 편도 5차로 이상이 1개 구간, 편도 4차로 이상이 15개 구간, 편도 3차로 이상이 5개 구간으로 전체 52개 구간 중 약 41%가 편도 3차로 이상으로 구성되어 있다. 도로 네트워크의 총 길이는 4.5km이다.

[표 4-1] 분석 대상 지역의 교차로 및 차로 구성

Node 번호	Node 명	유형	Link No.	시점 Node	종점 Node	차로수 (차로)	Link 길이 (m)
①	분당사거리	4지	1	②	①	4	720
			2	외부	①	4	200
			3	외부	①	3	250
			4	외부	①	3	500
②	정자사거리	4지	5	③	②	4	270
			6	①	②	4	720
			7	외부	②	3	250
			8	외부	②	3	560
③	백궁사거리	4지	9	④	③	4	195
			10	②	③	5	270
			11	외부	③	2	200
			12	외부	③	2	200
④	백궁삼거리	3지	13	③	④	4	195
			14	⑤	④	4	420
⑤	궁내사거리	4지	15	⑫	⑤	1	160
			16	외부	⑤	1	150
			17	④	⑤	4	420
			18	⑤-1	⑤	4	260

Node 번호	Node 명	유형	Link No.	시점 Node	종점 Node	차로수 (차로)	Link 길이 (m)
⑤-1	정자역	4지	19	⑤	⑤-1	4	260
			20	⑥	⑤-1	4	260
⑥	금곡교사거리	4지	21	⑨	⑥	2	160
			22	외부	⑥	2	150
			23	⑤	⑥	4	260
			24	⑦	⑥	4	360
⑦	불정교사거리	4지	25	⑧	⑦	2	160
			26	외부	⑦	3	150
			27	⑥	⑦	4	360
			28	외부	⑦	4	160
⑧	정자일로1사거리	4지	29	외부	⑧	2	150
			30	⑦	⑧	2	160
			31	⑨	⑧	1	360
			32	외부	⑧	1	160
⑨	본플러스병원 앞	4지	33	외부	⑨	2	150
			34	⑥	⑨	2	160
			35	⑩	⑨	1	220
			36	⑧	⑨	1	360
⑩	분당경찰서 앞	4지	37	외부	⑩	1	150
			38	-	⑩	1	160
			39	⑪	⑩	2	90
			40	⑨	⑩	1	220
⑪	SK 유타워 앞	4지	41	외부	⑪	1	150
			42	-	⑪	1	160
			43	⑫	⑪	2	180
			44	⑩	⑪	2	90
⑫	정자푸르지오2차 앞	4지	45	외부	⑫	1	150
			46	⑤	⑫	1	160
			47	⑬	⑫	2	420
			48	⑪	⑫	1	180
⑬	늘푸른고등학교 삼거리	4지	49	외부	⑬	2	150
			50	④	⑬	2	160
			51	외부	⑬	1	150
			52	⑫	⑬	1	420

※ 주 : 차로수는 교차로로 진입하는 방향의 편도 차로로 표시하였음

도로를 면적 기준으로 분류하면 대상 도로의 전체 면적 대비 편도 4차로 구간이 가장 많은 49%이다. 편도 1차로, 편도 2차로, 편도 3차로의 면적은 각각 18%, 14%, 15%로 비슷한 수준으로 나타났다. 편도 5차로 구간은 4% 정도이다.

[표 4-2] 도로 네트워크의 차로수별 면적

구분	차로수(개)	비율(%)	면적(㎡)	비율(%)
편도 5차로	1	2%	4,725	4%
편도 4차로	15	29%	60,480	49%
편도 3차로	5	10%	18,480	15%
편도 2차로	15	29%	16,835	14%
편도 1차로	16	31%	22,155	18%
합계	52	100%	122,675	100%

1.2.3. 교통량 조사

교통량 조사는 현실성 있는 데이터가 반영된 시뮬레이션 구축을 위해서 여름철 연휴 및 장마 기간을 피해 7월 25일부터 27일까지 3일간 조사를 진행하였다.

[표 4-3] 교통량 조사 개요

구분	내용
대상지역	경기도 성남시 분당구 (13개 교차로, 52개 도로구간)
조사일시	2020.07.25~07.27
조사시간	오전 첨두시간 (07~09시)
조사방법	조사원 직접 조사, 영상 기록 방식, 교차로 방향별 교통량 조사

교통량 조사는 13개 교차로의 52개 구간 전 구간을 대상으로 오전 첨두시간 (7~9시) 동안의 교통량을 측정하였다. 조사 방식은 13개 교차로에 카메라를 설치

하여 2시간 동안 녹화를 진행하고, 촬영된 영상을 활용하여 교차로를 통과하는 방향별 교통량을 수집하였다. 촬영을 위해 각각의 교차로에 [그림 4-2]와 같이 카메라를 설치하여 방향별 교통량 수집의 오차를 최소화 하였다.

교통량 조사 위치	촬영 현황
카메라위치도,방향도,연결교차로 표시	동영상화면 (n: 연결교차로 번호)
카메라위치도,방향도,연결교차로 표시	동영상화면 (n: 연결교차로 번호)
카메라위치도,방향도,연결교차로 표시	동영상화면 (n: 연결교차로 번호)

[그림 4-2] 교통량 조사 위치 (예시)

1.2.4. 신호현시

신호현시 자료는 현장에서 직접 조사한 자료와 분당시청에서 제공받은 신호자료를 사용하였다. 대상지역 13개 교차로의 오전 첨두시간 신호 운영 현황은 [표 4-4]와 같다. ①~⑦번 교차로는 간선도로상에 있으며, 신호주기는 180초이다. 나머지 도로에 위치한 ⑧~⑬번 교차로는 120~180초로 다양하게 구성되어 있다.

[표 4-4] TOD 신호 운영 현황

(단위 : 초)

구분		Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	오프셋	주기
①	분당사거리					-	-	-
		50(4)	43(4)	50(4)	37(4)	-	50	180
②	정자사거리						-	-
		62(4)	33(4)	30(4)	25	30(4)	90	180
③	백궁사거리				-	-	-	-
		98(4)	29(4)	53(4)	-	-	70	180
④	백궁삼거리				-	-	-	-
		115(3)	30(3)	35(3)	-	-	60	180
⑤	궁내사거리						-	-
		60(4)	26(4)	14(4)	26(4)	54(4)	15	180
⑤-1	정지역		보행	-	-	-	-	-
		130(4)	50	-	-	-	0	180

(단위 : 초)

구분		Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	읍셋	주기
⑥	금곡교사거리						-	-
		80(4)	25(4)	25(4)	25	25(4)	70	180
⑦	불정교사거리					-	-	-
		95(4)	20(4)	40(4)	25(4)	-	155	180
⑧	정자일로1사거리					-	-	-
		70(4)	30(4)	40(4)	40(4)	-	90	180
⑨	본플러스병원 앞					-	-	-
		65(3)	25(3)	45(3)	45(3)	-	90	180
⑩	분당경찰서 앞			보행			-	-
		30(3)	32(3)	32	23(3)	23(3)	12	140
⑪	SK 유타워 앞					보행	-	-
		30(3)	23(3)	32(3)	23(3)	32	0	140
⑫	정자푸르지오2차 앞					-	-	-
		35(3)	35(3)	25(3)	25(3)	-	85	120
⑬	늘푸른고등학교 삼거리					보행	-	-
		29(3)	26(3)	25(3)	31(3)	39	0	150

2. 시뮬레이션 환경 구축

자율주행자동차 도입에 따른 도로 용량 변화 및 차로 감소 효과를 분석하기 위하여 미시적 시뮬레이션 프로그램인 독일 PTV사의 VISSIM(Verkehr In Städten - Simulationsmodell)을 활용하였다. 대상 지역의 교통량, 기하구조, 신호현시 등의 수집된 자료를 활용하여 도로 네트워크를 구축하였고, 자율주행자동차 관련 파라미터는 선행연구를 참고하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다.

2.1. 시뮬레이션 툴 선정

교통 시뮬레이션은 교통의 흐름을 표현하는 정도에 따라 거시적(Macroscopic) 시뮬레이션, 중시적(Mesosopic) 시뮬레이션, 미시적(Microscopic) 시뮬레이션으로 구분한다. 최근에는 거시적 현상을 미시적 행위자 상호작용 설명하기 위해 행위자 기반 모형(Agent-based model)이 활용되고 있다. 본 연구는 행위자의 상호작용보다는 교통의 흐름 상태 변화와 도로 용량이 주요 관심사항이므로 전통적인 교통 시뮬레이션을 사용하였다.

거시적 시뮬레이션의 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 교통흐름 상태를 파악하는 데 활용한다. 일반적으로 교통수요예측 4단계 모형을 기반으로 하고 있으며, 분석에 활용하는 주요 도구는 EMME/4, VISUM, TRASNCAD 등이 있다.

중시적 시뮬레이션은 미시와 거시적 시뮬레이션 각각의 특징이 조합된 중간적 단계의 방법이다. 주요 특징은 주변 차량의 영향을 파악하여 시간 및 공간적 차량 특성을 누적시켜 파악할 수 있도록 한다. 차량 간의 상호작용을 반영하는 것은 어렵지만, 대규모 네트워크를 대상으로 활용할 수 있다. 분석에 활용하는 주요 도구로는 SUMO, VISTRO, DynaMIT 등이 있다.

미시적 시뮬레이션은 개별차량 행태를 반영하여 교통류 제어의 현실적인 모사가 가능하여 교차로 단위 소규모 네트워크 분석, 교통신호분석 등 교통운영 평가 및

교통관리 전략 수립 등에 주로 활용되고 있다. 차량과 주변 환경 정보를 취득하는 상호작용을 통해 교통흐름을 생성한다. 분석에 활용하는 주요 도구로는 VISSIM, TSIS, T7F, Aimsun 등이 있다.

본 연구는 자율주행자동차의 혼입 비율에 따른 변화가 도로 용량에 미치는 영향과 자율주행자동차의 도입에 따른 차로 감소 효과를 분석하는 것을 목적으로 하고 있으므로 실제 도로 환경 반영이 가능한 미시적 시뮬레이션을 선택하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

분석을 위하여 개별차량의 이동과 형태를 반영할 수 있으며 선행 연구에서 주로 활용된 VISSIM을 활용하였다. 그리고 운전자 행동 특성 파라미터에 자율주행자동차를 포함하고 있는 가장 최신버전의 VISSIM 2020을 활용하였다.

[표 4-5] 교통 시뮬레이션 모형 비교

구분	거시적 (Macroscopic)	중시적 (Mesoscopic)	미시적 (Microscopic)
분석범위	대규모 네트워크	대규모 네트워크	소규모 단위 네트워크 분석
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 교통흐름 판단 · 시간 및 공간적 교통 행동을 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, VISUM, TRANSCAD	SUMO, VISTRO, DynaMIT, TransModeler	VISSIM, TSIS, T7F, Paramics, Aimsun

자료 : 김은지 (2017) 참고하여 재작성

2.2. 차량운행 모델링을 위한 모형과 파라미터 설정

시뮬레이션 분석을 위해서 차량운행모형과 차량 속도, 차량 가 · 감속, 정지거리, 차두시간 등의 파라미터를 설정하였다. 본 분석에서는 차량 간 통신과 군집주행(platoon)은 따로 고려하지 않고, VISSIM의 기본값을 활용하였다.

VISSIM은 차량추종모형(Car-following model)과 차로변경형태(Lane change behavior), 운전자 특성(driver model)을 반영하여 차량의 운동을 모델링하고 있다. 차량추종모형에는 교통 심리학적 요소가 반영된 Wiedemann 모형을 사용하고 있다. Wiedemann 모형은 일반적으로 통행 흐름 특성에 따라 고속도로와 같은 연속류에는 Wiedemann 99를 사용하고, 신호교차로와 같이 차량의 흐름을 방해하는 신호등, 정지신호 등의 고정된 시설에 의해 진행과 정지를 반복하는 단속류에는 Wiedemann 74를 사용한다.

본 분석은 도시 내 통행을 대상으로 하고 있으며, 도시의 교통흐름은 교통신호등, 정지신호와 같이 고정된 시설에 의해 교차로에 진입하는 차량들이 진행과 정지를 반복하는 단속류로 정의하고 있다. 따라서 차량추종모형은 Wiedemann 74를 사용하였다. Wiedemann 74도 차두시간, 정지거리, 안전거리 등 자율주행자동차가 도로 용량 개선 효과에 영향을 미칠 것으로 예상되는 파라미터들의 변수값 조정이 가능하므로 자율주행자동차의 특성을 반영하는데 문제가 없다.

자율주행자동차의 수준은 미국 자동차공학회(SAE)에서 제시한 자율주행자동차 단계 중 레벨 4를 적용하였다. VISSIM에 설정된 자율주행자동차 관련 파라미터의 기본 값은 레벨 3 수준에 해당하여 선행 연구에서 제시한 파라미터 값들을 참고하여 [표 4-6]과 같이 설정하였다(강민희 외, 2019; 육동형 외, 2018; ATKINS, 2016).

자율주행자동차의 특성을 반영하기 위해 설정해야 하는 차량 제어변수(파라미터)는 차량추종모형의 경우 평균 차두거리와 평균 차두시간의 두 가지 파라미터를 사용하고 있다. 차로변경(Lane change model)과 관련된 파라미터는 최소 차두거리(Min. Headway)와 안전거리 감소 요인(Safety distance reduction factor)이 있다. 마지막으로 운전자의 특성을 규정하는 파라미터에는 전방주시거리(최소와 최대)와 차량속도(상한과 하한)를 규정하였다.

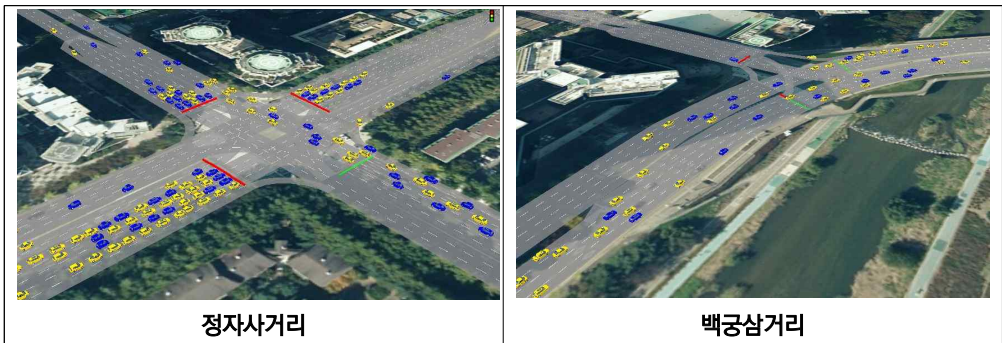
자율주행자동차의 경우 일반 차량보다 모든 부분에서 차량의 흐름을 원활하게 하는데 적합한 파라미터 값을 설정하였다. 대표적으로 자율주행자동차의 평균 차 두거리와 평균 차두시간은 각각 0.5m와 0.5초이다. 일반차량은 각각 1.5m와 0.9초로 자율주행자동차의 앞뒤 간격이 일반차량에 비해 좁게 설정되어 있다. 이는 차량 간 간격이 좁아지면서 도로의 단위 거리 당 더 많은 차량이 존재할 수 있어 이론상 차량의 흐름을 더 빠르게 할 수 있고, 효율을 증가시킬 수 있다. 또한, 전방주시 거리의 경우 자율주행자동차가 일반차량에 비해 2배 더 먼 거리에 있는 상황까지 인지한다고 설정하였다. 자율주행자동차는 상호 통신이 가능하므로 일반차량에 비해 더 먼 거리에 위치한 차량이나 도로의 상황을 인지할 수 있다. 반면 제한속도의 경우 자율주행자동차는 규정 속도를 준수하는 것으로 설정하였으나, 일반차량은 현실을 반영하여 속도의 범위를 최소 48km/h에서 최대 58km/h로 설정하였다.

[표 4-6] 자율주행자동차와 일반차량의 차량 제어변수(파라미터) 값

제어 변수			차량 유형	
			일반	자율주행
Car-following model (Wiedemann 74)	Standstill distance (m)		1.5	0.5
	Headway time (s)		0.9±0.2	0.5
Lane change	Min. headway (m)		0.5	0.2
	Safety distance reduction factor(%)		90	30
Driver Characteristics	Look ahead distance (m)	Min.	0	0
		Max.	250	500
	Desired Speed (km/h)	Lower bound	48	50
		Upper bound	58	50

2.3. 시뮬레이션 수행

시뮬레이션 수행 시 네트워크 초기 안정화 및 네트워크 내 이동하고 있는 교통량의 정확도를 높이기 위하여 차량이 네트워크 내에 진입하는 시간을 제외하고 1시간 동안의 시뮬레이션 결과를 활용하였다. 제외 시간은 전체 네트워크 거리를 고려하여 1,800초로 하였다. VISSIM을 활용한 교차로 시뮬레이션 현황은 [그림 4-3]과 같다. 시뮬레이션이 진행되는 동안 차량의 혼입비율을 확인하기 위하여 일반차량과 자율주행자동차를 각각 노란색과 파란색으로 색상을 구분하였다.



[그림 4-3] VISSIM 교차로 시뮬레이션 수행 (예시)

자율주행자동차 혼입 비율에 따른 용량 분석을 위하여 효과척도는 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체로 선정하였다. 시뮬레이션 상에서 효과척도를 측정하기 위하여 각각의 구간마다 교차로로 진입하는 위치와 교차로에서 진출하는 위치에 가상의 검지기를 설치하여 측정하였다. 효과척도의 값은 [그림 4-4]와 같이 시뮬레이션 분석 시 Random Seed를 달리하여 5회 반복 수행한 평균값을 활용하였다.

Start Page Network Editor										
Vehicle Network Performance Evaluation Results										
Select layout...										
Count	9 SimRun	Timeint	DelayAvg(All)	SpeedAvg(All)	StopsAvg(All)	TravTmTot(All)	DistTot(All)	DelayTot(All)	StopsTot(All)	VehAct(All)
1	1	1800-5400	100.17	25.27	2.38	2766123.00	19415.73	1394259.95	33077	735
2	2	1800-5400	121.60	22.82	3.40	3165131.00	20063.85	1747548.10	48826	857
3	3	1800-5400	109.63	24.06	2.75	2945027.00	19682.56	1555211.34	38967	799
4	4	1800-5400	104.16	24.77	2.55	2869333.00	19741.16	1474174.74	36134	831
5	5	1800-5400	109.58	24.04	2.89	2960260.00	19767.17	1564424.31	41269	818
6	Average	1800-5400	109.03	24.19	2.79	2941174.80	19734.09	1547123.69	39655	808
										13373

[그림 4-4] 시뮬레이션 수행 결과 (예시)

2.4. 분석 방법

시뮬레이션은 [그림 4-5]와 같이 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 도로 네트워크의 변화 분석, 혼입비율과 통행량 증가에 따른 도로 네트워크의 변화 분석, 마지막으로 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차로 감소 효과 분석을 수행한다.



[그림 4-5] 분석 방법

□ 분석 1 : 자율주행자동차의 혼입 비율에 따른 도로 네트워크 변화 분석

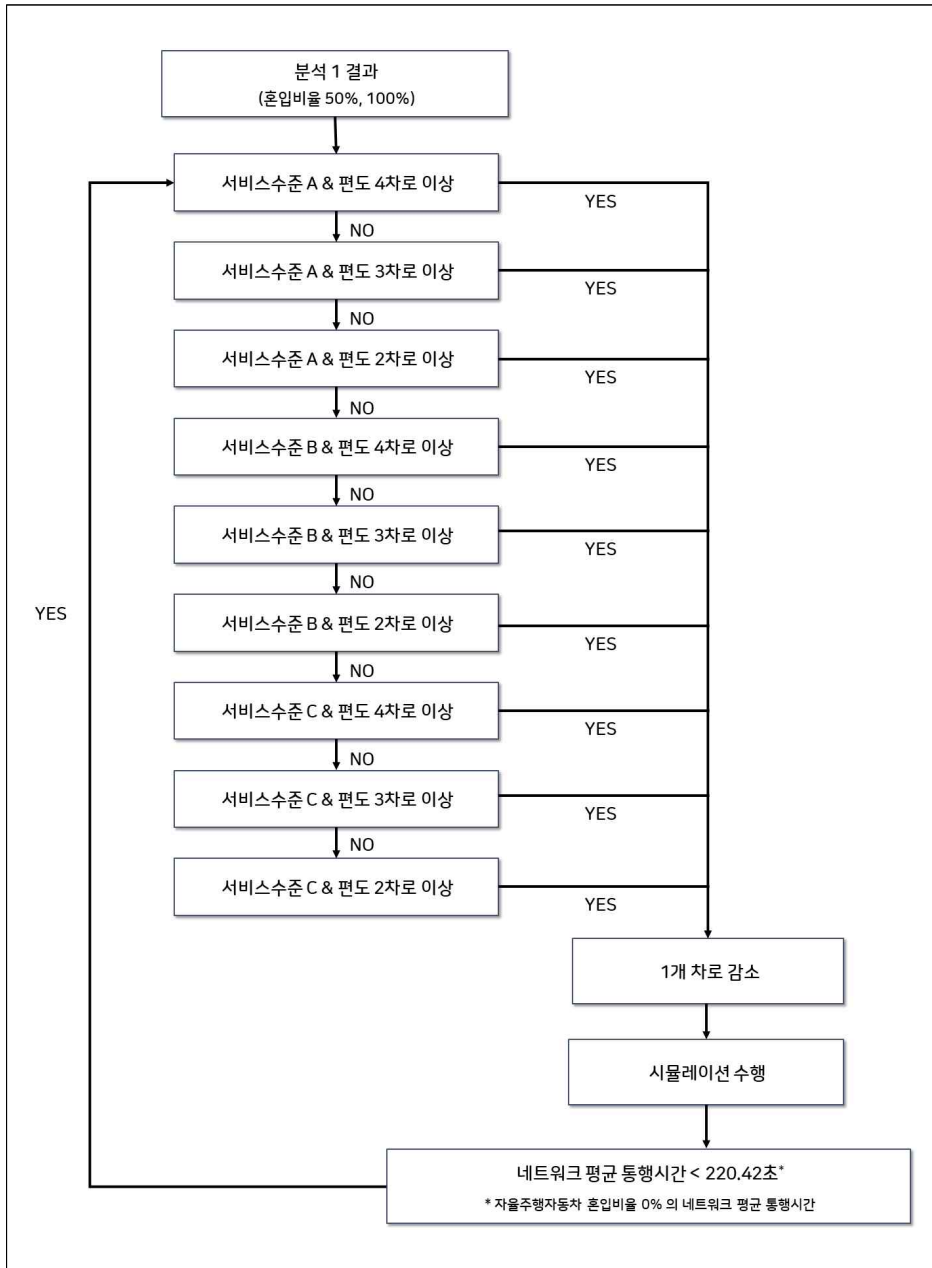
- 자율주행자동차 혼입 비율이 교통흐름에 미치는 영향 분석
- 자율주행자동차 혼입 비율을 0~100%까지 20% 단위로 증가
- 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체의 변화 분석 및 포화교통류율 산출

□ 분석 2 : 자율주행자동차의 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 도로 네트워크 변화 분석

- 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가가 교통흐름에 미치는 영향 분석
- 자율주행자동차 혼입 비율을 0~100%까지 20% 단위로 증가
- 자율주행자동차 혼입 비율마다 통행량을 0~100%까지 20% 단위 증가
- 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체의 변화 분석

□ 분석 3 : 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차로 감소 효과 분석

- 자율주행자동차 혼입 비율 50%와 100%인 상태만 고려
 - 혼입 비율이 0%일 때 효과적도인 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체를 도출하여 기준 값으로 설정
- 혼입 비율 50%와 100% 각각에 대해서 서비스 수준을 산출하고, [그림 4-6]과 같이 서비스 수준이 높고, 차로수가 많은 구간부터 단계적으로 차로를 감소시켜 효과적도 산출
 - 이때 네트워크 평균 통행시간이 혼입 비율 0%(BASE)의 네트워크 평균 통행시간을 넘지 않는 범위에서 최대 감소 효과 분석
 - ◆ 예시) 서비스 수준이 A이고 편도 4차로 이상인 도로 구간이 있을 때, 해당 도로의 한 개 차로 감소. 시뮬레이션을 수행하여 평균 통행시간이 BASE(혼입 비율 0%)의 평균 통행시간(220.42초)보다 작을 경우, 다시 서비스 수준이 A이고 편도 4차로 이상인 도로 구간 찾을 때까지 서비스 수준이 A이고 편도 3차로 이상인 도로 구간을 찾아 반복 수행하며, 네트워크의 평균 통행시간이 BASE보다 높으면 분석 종료



[그림 4-6] 차로 감소 분석과정

3. 시뮬레이션 분석 결과

3.1. 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 도로 네트워크 변화

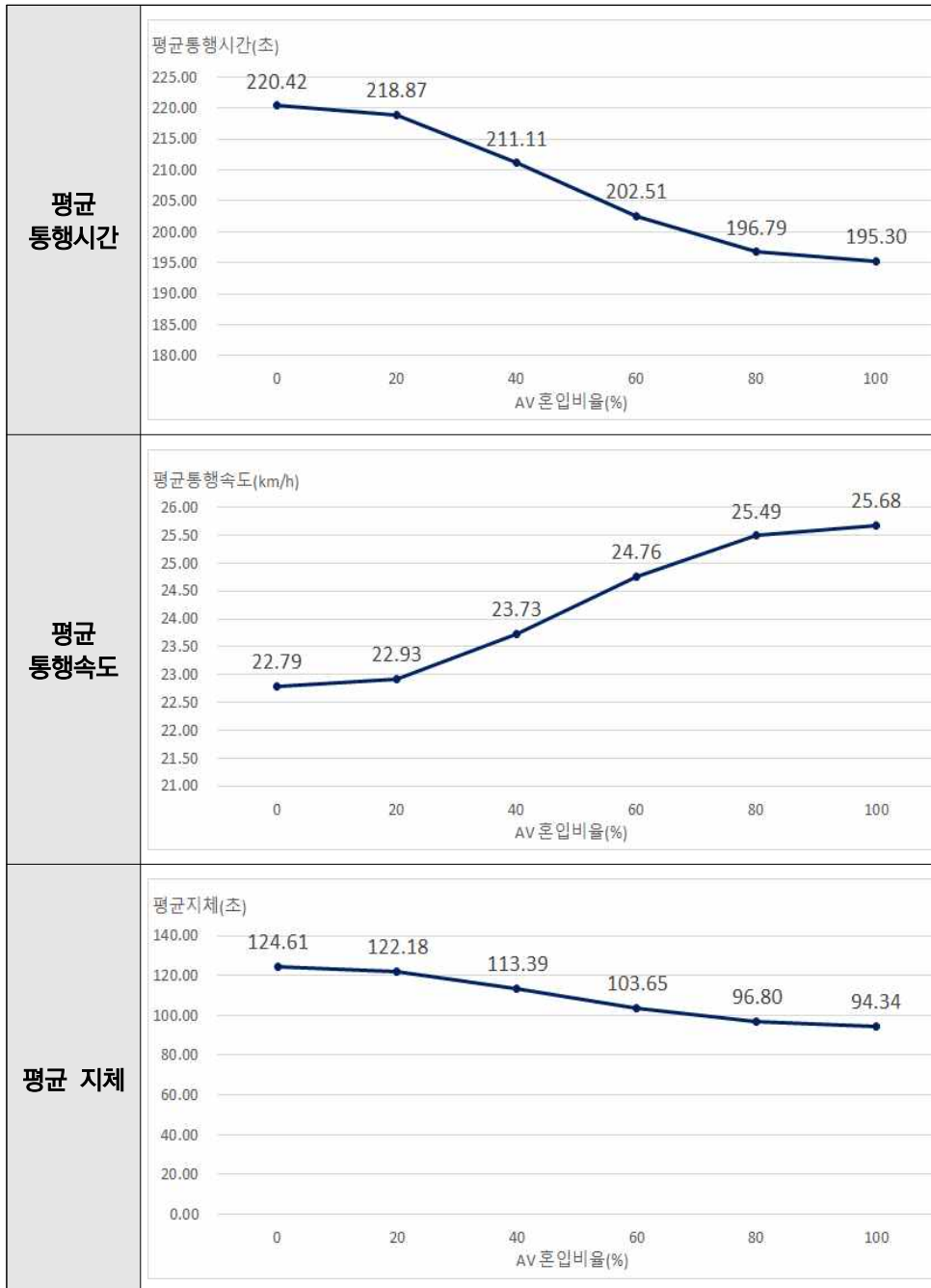
3.1.1. 도로의 교통흐름 상태 분석 결과

자율주행자동차의 혼입 비율이 변함에 따라 네트워크의 상태가 어떻게 변하는지에 대해 [표 4-7]과 같이 분석한 결과가 나타났다. 혼입 비율 0%인 현재는 네트워크의 평균 통행시간이 220.42초, 평균 통행속도는 22.79km/h, 평균 지체는 124.61초로 나타났다. 반면 혼입 비율이 100%일 때 네트워크 평균 통행시간이 195.3초, 평균 통행속도는 25.68km/h, 평균 지체는 94.34초로 나타났다. 혼입 비율이 100%일 때 0%에 비해 평균 통행시간과 평균 지체가 각각 약 13%, 32% 감소하고, 평균 통행 속도는 약 13% 증가하였다.

분석결과를 활용하여 완전자율주행자동차 시대가 되었을 때의 이익을 산정해보면, 분석 대상 네트워크 기준으로 시뮬레이션 분석 시간 동안(1시간) 약 3,610,000원의 이익을 얻을 수 있을 것으로 나타났다. 시뮬레이션 분석 시간 동안의 이익을 산정하기 위하여 자율주행자동차의 통행시간가치는 고용석 외(2019)의 통행시간가치 추정결과인 36,744원/시간(완전자율기준)을 활용하였다.

[표 4-7] 자율주행자동차 혼입 비율별 네트워크 효과측도 분석 결과

자율주행자동차 혼입 비율 (%)	평균 통행시간 (초)	평균 통행속도 (km/h)	평균 지체 (초)
0	220.42	22.79	124.61
20	218.87	22.93	122.18
40	211.11	23.73	113.39
60	202.51	24.76	103.65
80	196.79	25.49	96.80
100	195.30	25.68	94.34



[그림 4-7] 자율주행자동차 혼입 비율별 네트워크 효과척도 분석 결과

3.1.2. 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 도로 용량 변화 분석

자율주행자동차의 혼입 비율이 증가할수록 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체가 개선됨을 확인할 수 있었다. 이런 결과를 검증하기 위해 [표 4-8]과 같이 혼입 비율에 따른 교차로 통과 교통량에 대한 포화교통류율을 분석하였다.

포화교통류율은 자율주행자동차의 혼입 비율이 증가함에 따라 점진적으로 증가하는 것을 보여준다. 혼입 비율이 0%일 때의 포화 차두시간은 1.65초이며, 포화교통류율은 시간당 2,183대이다. 혼입 비율이 100%일 때는 포화 차두시간이 1.24초이며, 포화교통류율은 시간당 2,901대이다. 혼입 비율 100%일 때 포화교통류율은 혼입 비율 0%일 때 대비 약 33% 증가하였다. 포화교통류율 분석에서도 역시 혼입 비율이 20%일 때 누적 증가율은 1%에 불과하였다. 그러나 혼입 비율이 80%에서 100%로 증가할 때는 누적 증가율 역시 11%로 타 구간과 비교하면 가장 많이 증가하였다. 따라서 교차로에서는 완전자율주행자동차가 도로상에 100% 운행하는 시대가 되는 것이 도로 구간보다 더 중요할 것으로 전망된다.

[표 4-8] 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 포화교통류율

자율주행자동차 혼입 비율 (%)	포화 차두시간 (초)	포화교통류율 (대/시)	누적 증가율(%)
0	1.65	2,183	-
20	1.63	2,214	1
40	1.48	2,432	11
60	1.39	2,592	19
80	1.35	2,659	22
100	1.24	2,901	33

3.2. 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 도로 네트워크 변화

선행 연구는 자율주행자동차의 도입이 통행수요의 증가에 미치는 영향을 다양하게 예측하고 있다. 전반적으로 사람이 직접 운전을 해야 하는 부담이 없어지면서 노인과 어린이 등 운전을 직접 하기 어려운 교통약자들의 통행수요 증가 뿐 아니라 전체적으로 통행 자체도 증가할 것으로 전망하고 있다. 공유형 자율주행자동차 이용이 증가한다고 하더라도 차량 대수의 감소는 있으나, 통행수요 자체의 감소는 어려울 것이다. 또한, 자율주행자동차의 편리함으로 인해 대중교통 이용이 오히려 감소하고 자율주행자동차 이용이 증가하여 전체적인 교통수요는 증가할 것으로 전망하고 있다.

본 분석에서는 자율주행자동차의 도입과 교통량 증가가 도로 네트워크의 차량 통행상태에 미치는 영향을 분석하였다. 자율주행자동차의 혼입 비율은 0~100%까지 20% 단위로 증가시켰다. 교통량 역시 0~100%까지 20% 단위로 증가시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 증가하는 교통량의 비율은 자율주행자동차와 일반차량의 혼입 비율에 맞춰 동일하게 적용하였다. 도로 네트워크의 상태는 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체 3가지 효과척도를 측정하여 분석하였다.

자율주행자동차 혼입 비율이 0%이면서 교통량 증가가 없는 상황을 BASE로 설정하였다. BASE의 평균 통행시간, 평균 통행속도, 평균 지체 값을 기준값으로 설정하였으며, 각 시나리오 별 효과척도를 BASE의 효과척도와 비교하여 네트워크 교통량 증가에 따른 수용성을 확인하였다.

분석 결과 [표 4-9]와 같이 혼입 비율 20, 40, 60%일 때는 교통량이 20% 이상 증가 시 네트워크의 각 지표가 BASE의 값을 넘어서는 결과가 나타났다. 혼입 비율 80%일 때는 교통량 20%일 때 평균 통행시간은 약 1.34초 초과하였으나 평균 지체는 1.58초 감소하였다. 따라서 교통량 20% 증가 수준까지는 네트워크 내에서 수용 가능하였다. 혼입 비율 100%일 때 역시 마찬가지로 교통량 20% 증가 수준까지 네트워크 내에서 수용 가능한 것으로 나타났다.

[표 4-9] 자율주행자동차 혼입 비율과 통행량 증가에 따른 네트워크 효과적도 분석 결과

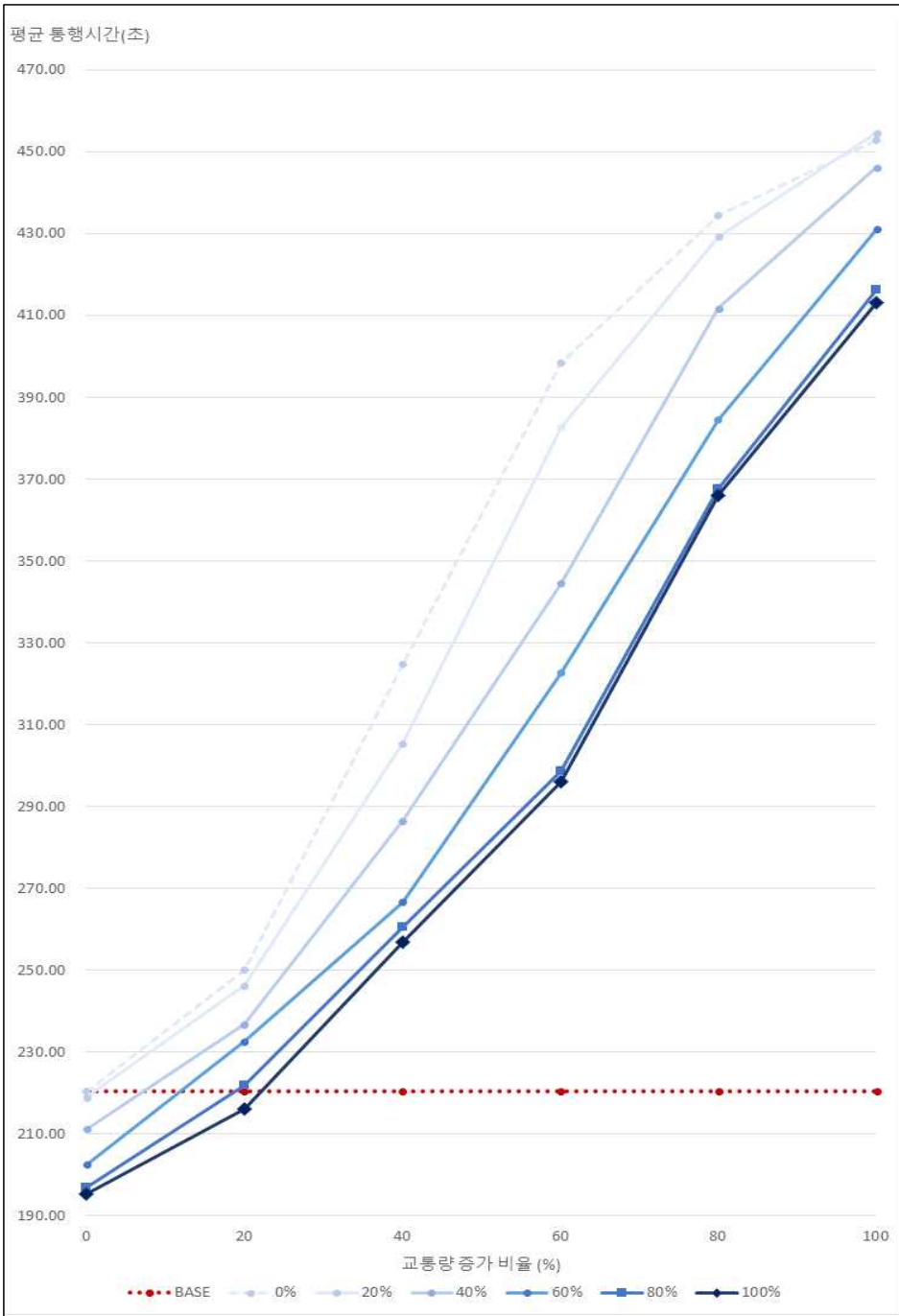
자율주행자동차 혼입 비율 (%)	교통량 증가 비율 (%)	평균 통행시간 (초)	평균 통행속도 (km/h)	평균 지체 (초)
0	0 (BASE)	220.42	22.79	124.61
	20	249.89	20.02	154.38
	40	324.79	15.04	231.53
	60	398.40	11.75	309.12
	80	434.26	10.52	347.11
	100	452.85	9.96	366.75
20	0	218.87	22.93	122.18
	20	246.25	20.26	149.87
	40	305.43	16.09	210.47
	60	382.46	12.35	291.30
	80	429.24	10.71	340.52
	100	454.54	9.89	367.78
40	0	211.11	23.73	113.39
	20	236.74	21.02	139.54
	40	286.53	17.16	190.45
	60	344.55	13.95	250.76
	80	411.71	11.20	321.73
	100	446.10	10.14	357.90
60	0	202.51	24.76	103.65
	20	232.61	21.33	134.68
	40	266.64	18.47	169.39
	60	322.58	15.02	226.95
	80	384.41	12.10	292.70
	100	431.05	10.52	341.71
80	0	196.79	25.49	96.80
	20	221.76	22.33	123.03
	40	260.52	18.80	162.79
	60	298.68	16.17	202.30
	80	367.63	12.66	274.86
	100	416.13	10.90	325.92
100	0	195.30	25.68	94.34
	20	216.09	22.86	116.64
	40	256.82	19.00	158.57
	60	296.07	16.23	199.22
	80	365.89	12.57	273.45
	100	413.04	10.74	323.76

[그림 4-8]~[그림 4-10]은 각 효과척도 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 먼저 통행상태가 현재 수준을 유지한다는 전제하에서 자율주행자동차의 혼입 비율 증가가 교통량 증가를 어느 수준까지 감당할 수 있는지 살펴보았다. BASE 기준선 아래 있는 값은 각각의 자율주행자동차 혼입 비율이 감당할 수 있는 교통량 증가 수준을 말한다. 분석 결과를 종합해 볼 때 혼입 비율의 증가에 따라 40%일 때 약 10%, 80%일 때 약 20% 수준의 교통량 증가를 감당할 수 있다. 혼입 비율이 100% 일 때 24% 정도의 교통량 증가를 감당할 수 있다. 자율주행자동차의 도입은 교통량 증가에 따른 통행상태 악화를 일정 수준 완화할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

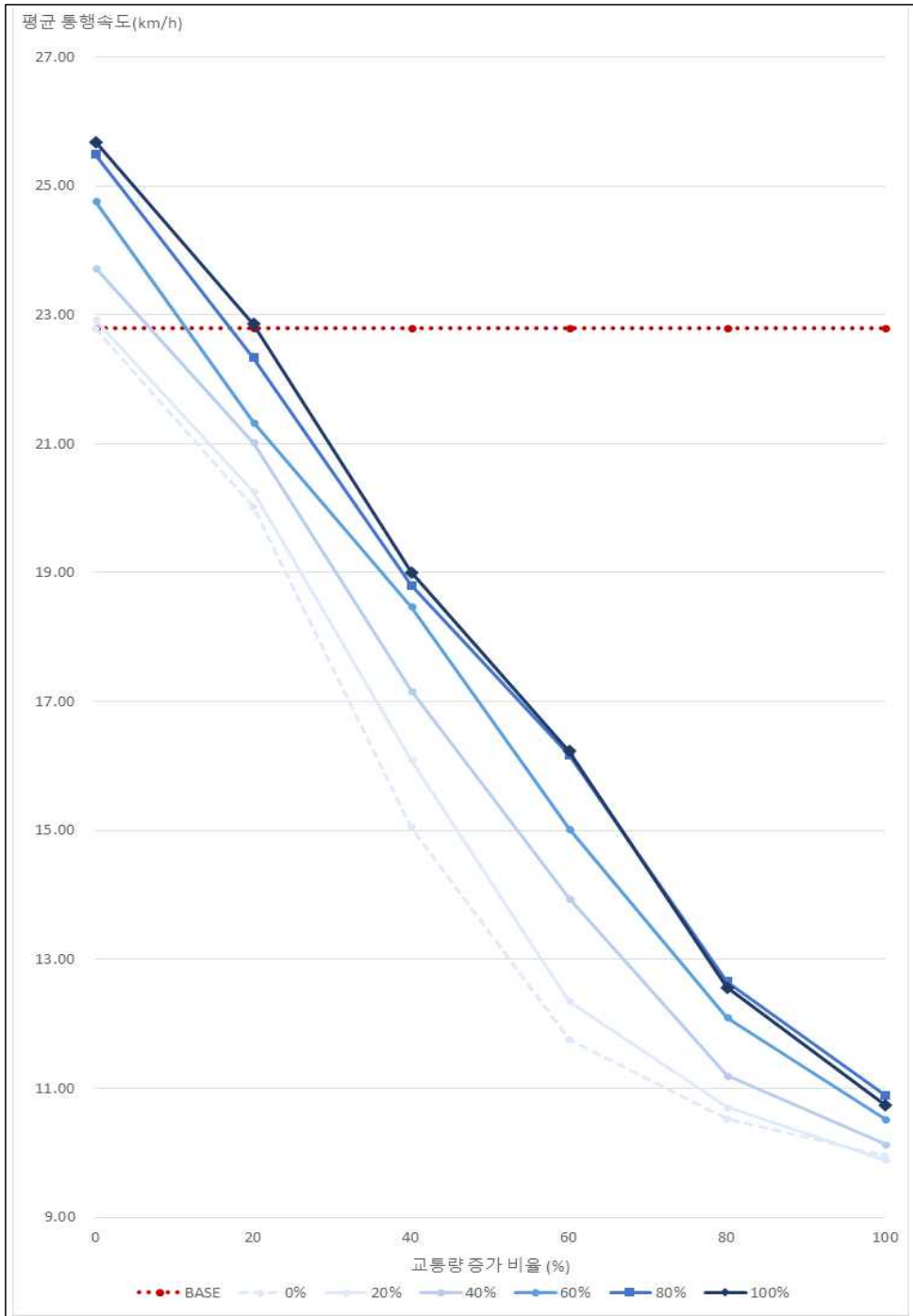
자율주행자동차의 혼입 비율 증가에 따른 통행상태 악화의 완화 효과는 동일하지 않았다. 동일한 교통량 증가 비율(X축)에서 자율주행자동차 비율이 증가하면서 측정값의 간격(Y축 값 간격)이 점점 넓어지는 경향을 보인다. 교통량 증가 비율(X축)이 20%일 때, 평균통행시간(Y축)의 값은 216~250초에서 변하여 그 차이가 34초였다. 교통량 증가비율이 60%일 때는 평균통행시간 값은 296~398초로 그 차이가 102초였다. 이는 자율주행자동차의 비율이 증가할수록 교통량 증가로 인한 도로 상태 악화를 더 잘 완화해준다는 의미이다. 교통량 증가가 60%를 넘어 80~100%가 되면 차이 값이 오히려 점점 줄어들었다. 이는 교통량 측면에서 교통량 증가가 너무 많아서 자율주행자동차라는 신기술을 활용한 개선 역시 한계임을 의미한다고 판단된다.

그림은 혼입 비율 80%와 100%일 때 그래프가 근접하여 같이 가는 형태를 보여준다. 이것은 혼입 비율이 80%와 100%일 때 교통흐름에 미치는 영향에 큰 차이가 없다는 의미이다. 따라서 절댓값 기준에서는 자율주행자동차 혼입비율 100%가 도로 네트워크의 상태 개선에 가장 효과적이겠지만, 효율성을 고려하면 80% 정도 수준 일 때가 가장 효율성이 높다는 의미라 판단된다.

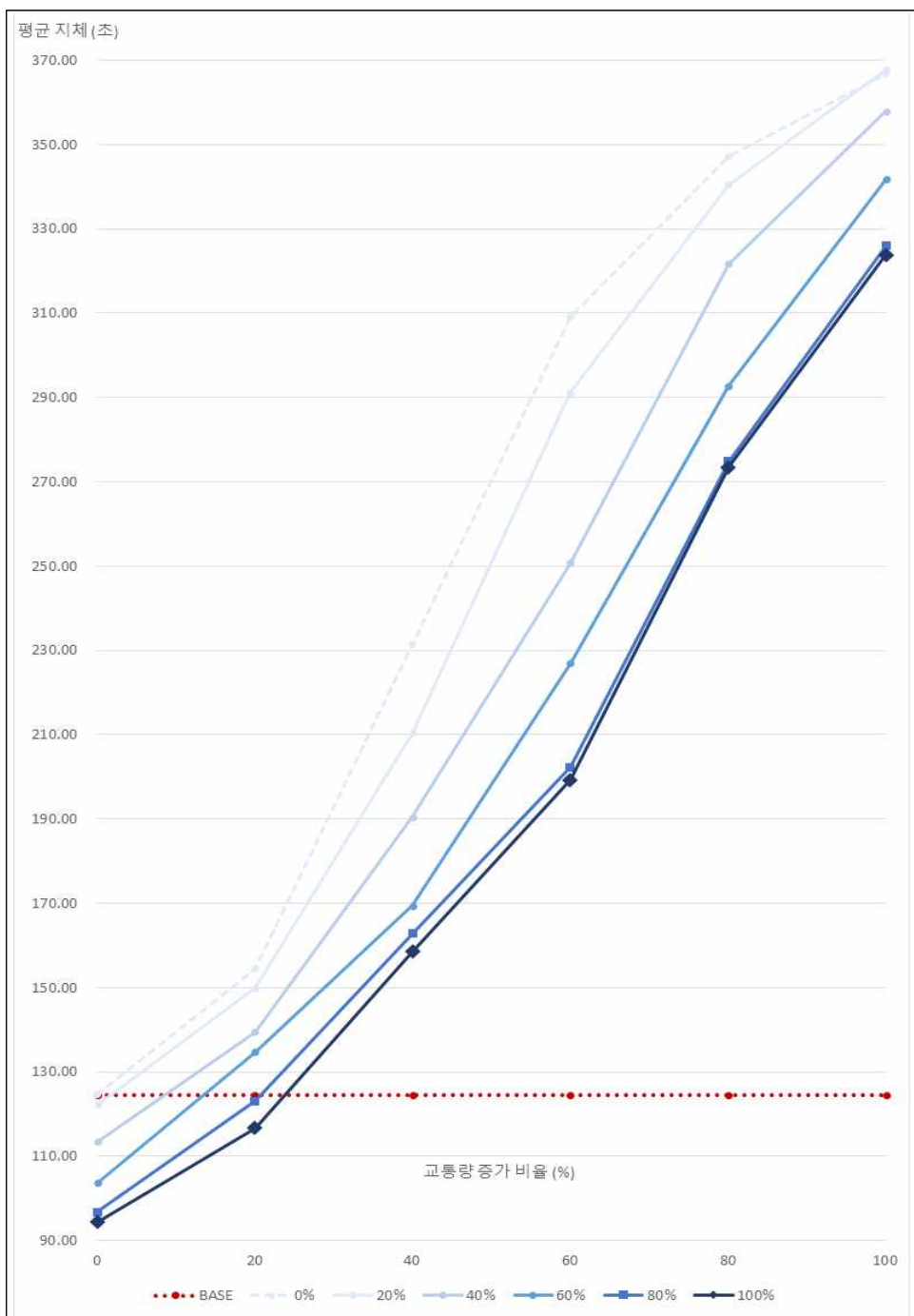
자율주행자동차의 비율이 점점 증가하면 현 상태를 유지한다는 전제하에서 조금씩 도로를 줄여가는 것이 가능하지만, 그 한계가 교통량 수준의 20%를 넘어 가지 못한다는 의미다. 현재 분석 대상 지역의 교통흐름이 만족할 만한 수준이라면 장기적으로 도로 감소 또는 교통량 증가를 수용할 수 있다. 교통흐름이 만족할 만한 수준이 아니라면 자율주행자동차에 의한 개선을 고려하더라도 더 이상의 교통량 증가는 억제되어야 한다.



[그림 4-8] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 통행시간



[그림 4-10] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 통행속도



[그림 4-11] 자율주행자동차 혼입 비율별 교통량 증가에 따른 네트워크 평균 지체

3.3. 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 차로 감소 가능성 분석

3.3.1. 도로 구간별 서비스수준 분석 결과

제4장 3.2절과 3.3절의 결과는 자율주행자동차를 도입하면 교통흐름이 개선된다는 것을 보여주었다. 교통흐름이 개선된다는 의미는 교통흐름을 현 상태로 유지한다면 도로를 줄일 수 있다는 의미이다. 본 절에서는 자율주행자동차를 도입하면 도로폭을 어느 정도 감소시킬 수 있을지 분석하였다. 분석의 전제 조건은 “도로 네트워크의 효과척도가 현 상태를 유지한다.” 이다.

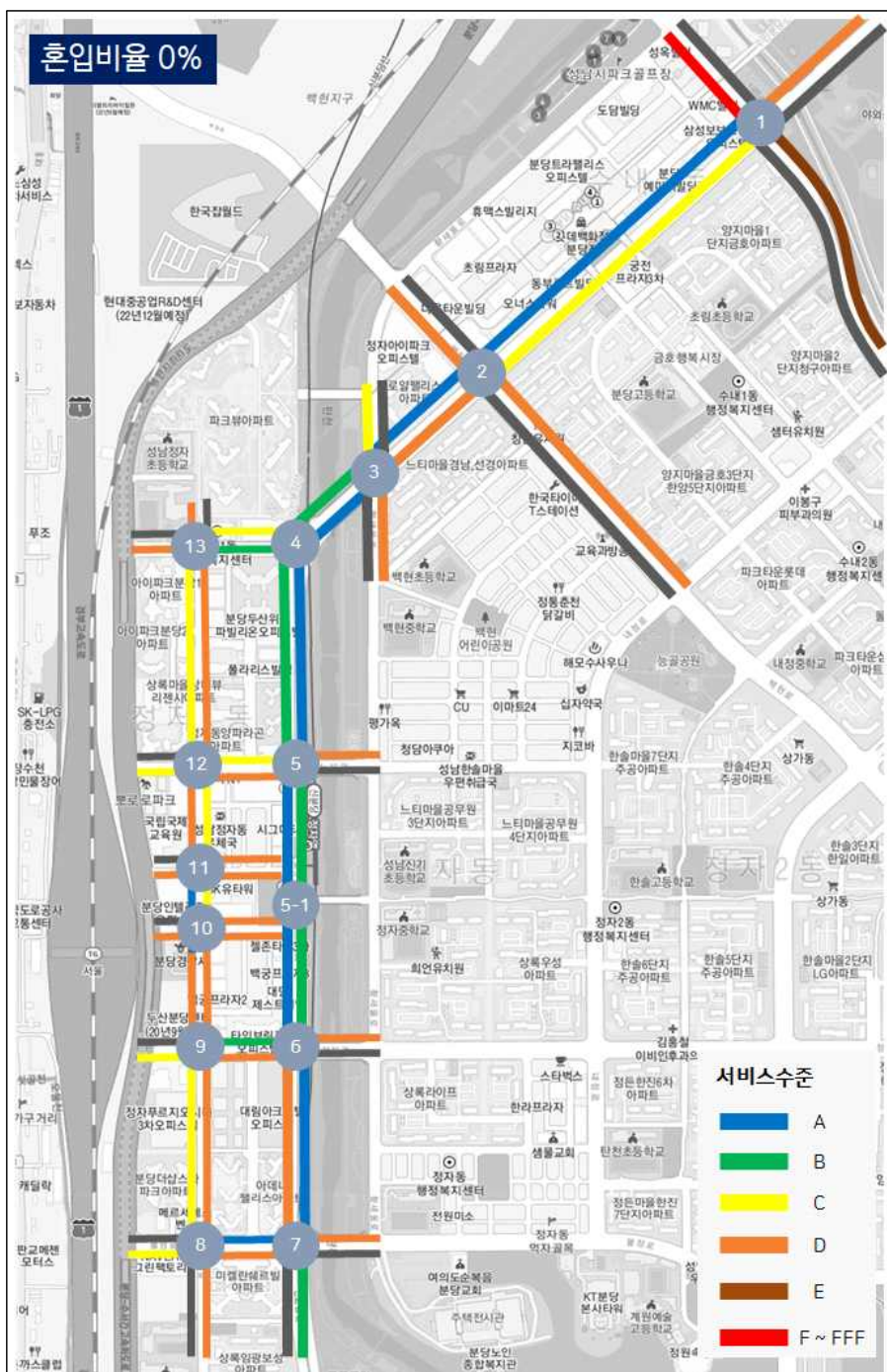
이를 위해 어느 도로 구간을 줄일지 판단할 필요가 있어 링크별 서비스수준을 먼저 도출하였다. 각 링크의 서비스수준은 교차로로 진입하는 방향을 중심으로 하였다.

자율주행자동차의 혼입 비율이 0%일 때 양호한 통행상태를 의미하는 서비스수준 C 이상인 링크가 52%였다. 이 중 차선을 줄이는 것을 시도할 수 있는 편도 2차로 이상인 링크는 23개로 전체 링크의 44%로 나타났다. 혼입 비율이 100%일 때는 서비스수준 C 이상인 링크는 60%였으며, 편도 2차로 이상인 링크는 25개로 48% 수준인 것으로 나타났다.

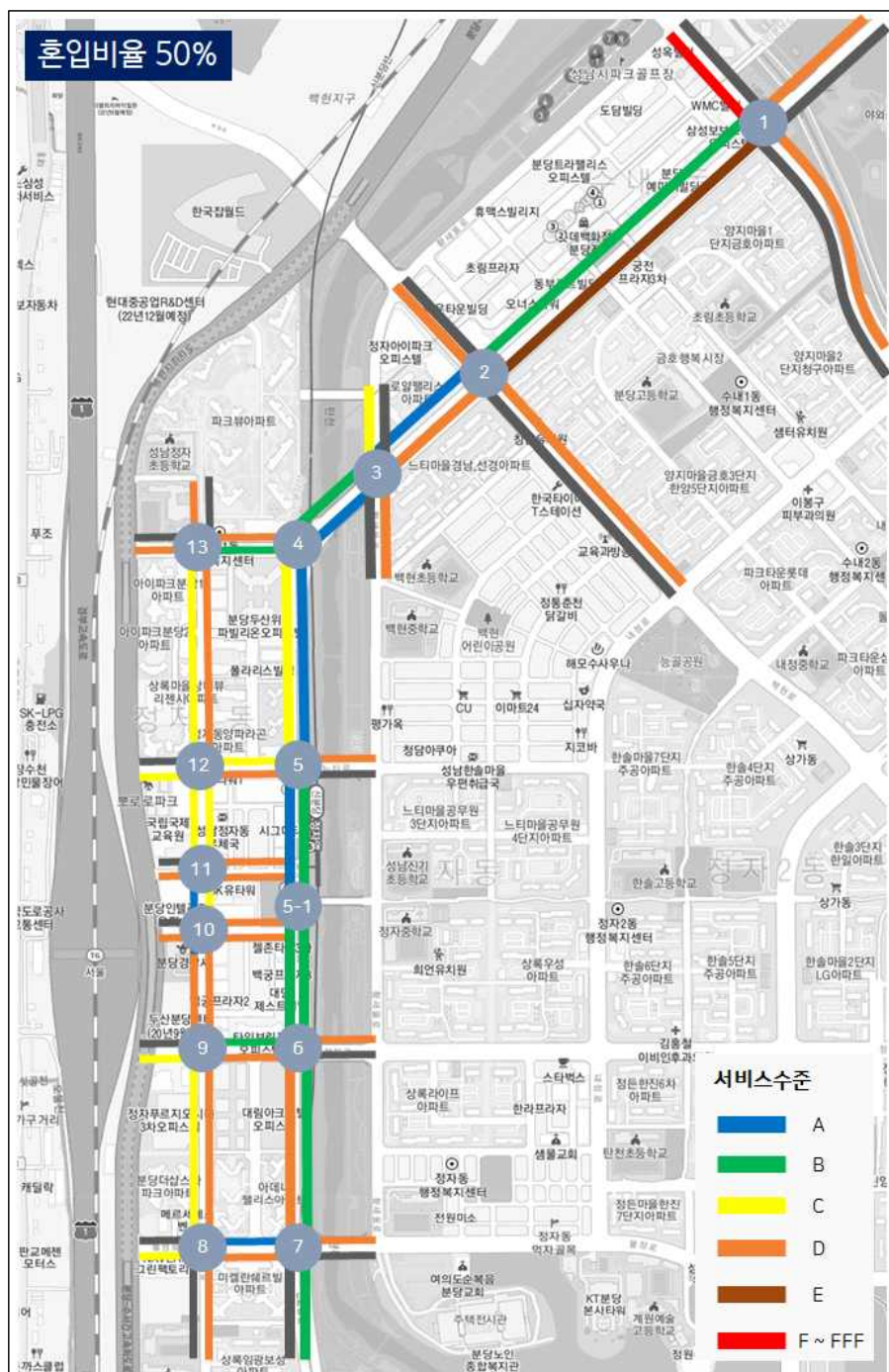
[표 4-10] 도로 링크별 서비스수준 현황

구분		Link No.	차로수	혼입 비율 0%	혼입 비율 50%	혼입 비율 100%
①	분당사거리	1	4	C	D	D
		2	4	D	D	D
		3	3	FFF	FF	E
		4	3	E	D	D
②	정자사거리	5	4	D	D	C
		6	4	A	B	C
		7	3	D	D	C
		8	3	D	D	D
③	백궁사거리	9	4	A	A	A
		10	5	A	A	A
		11	2	C	C	C
		12	2	D	D	C

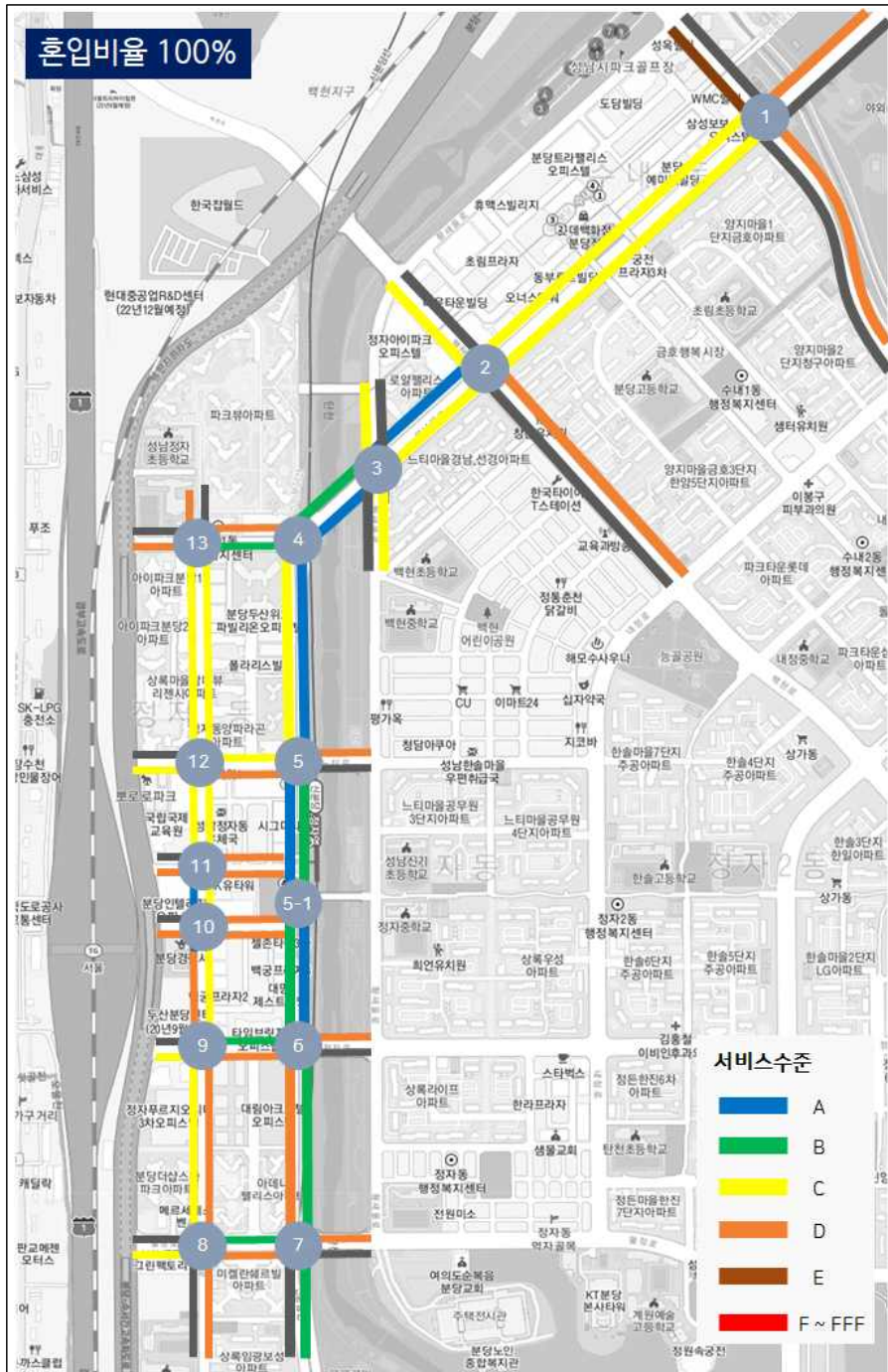
구분	Link No.	차로수	혼입 비율 0%	혼입 비율 50%	혼입 비율 100%
④	백궁삼거리	13	4	B	B
		14	4	A	A
⑤	궁내사거리	15	1	D	D
		16	1	D	D
		17	4	B	C
		18	4	B	B
⑤-1	정지역	19	4	A	A
		20	4	B	A
⑥	금곡교사거리	21	2	B	B
		22	2	D	D
		23	4	A	B
		24	4	A	B
⑦	불정교사거리	25	2	D	D
		26	3	D	D
		27	4	D	D
		28	4	B	B
⑧	정자일로1사거리	29	2	C	C
		30	2	A	A
		31	1	C	C
		32	1	D	D
⑨	본플러스병원 앞	33	2	C	C
		34	2	B	B
		35	1	D	D
		36	1	D	D
⑩	분당경찰서 앞	37	1	D	D
		38	1	D	D
		39	2	A	A
		40	1	D	C
⑪	SK 유타워 앞	41	1	D	D
		42	1	D	D
		43	2	D	C
		44	2	C	C
⑫	정자푸르지오2차 앞	45	1	C	C
		46	1	C	C
		47	2	C	C
		48	1	C	C
⑬	늘푸른고등학교 삼거리	49	2	D	D
		50	2	C	D
		51	1	D	D
		52	1	D	C



[그림 4-12] 자율주행자동차 혼입 비율 0%에서의 서비스수준



[그림 4-13] 자율주행자동차 혼입 비율 50%에서의 서비스수준



[그림 4-14] 자율주행자동차 혼입 비율 100%에서의 서비스수준

3.3.2. 차로 감소 가능성 분석 결과

1) 자율주행자동차 혼입 비율 50% 분석 결과

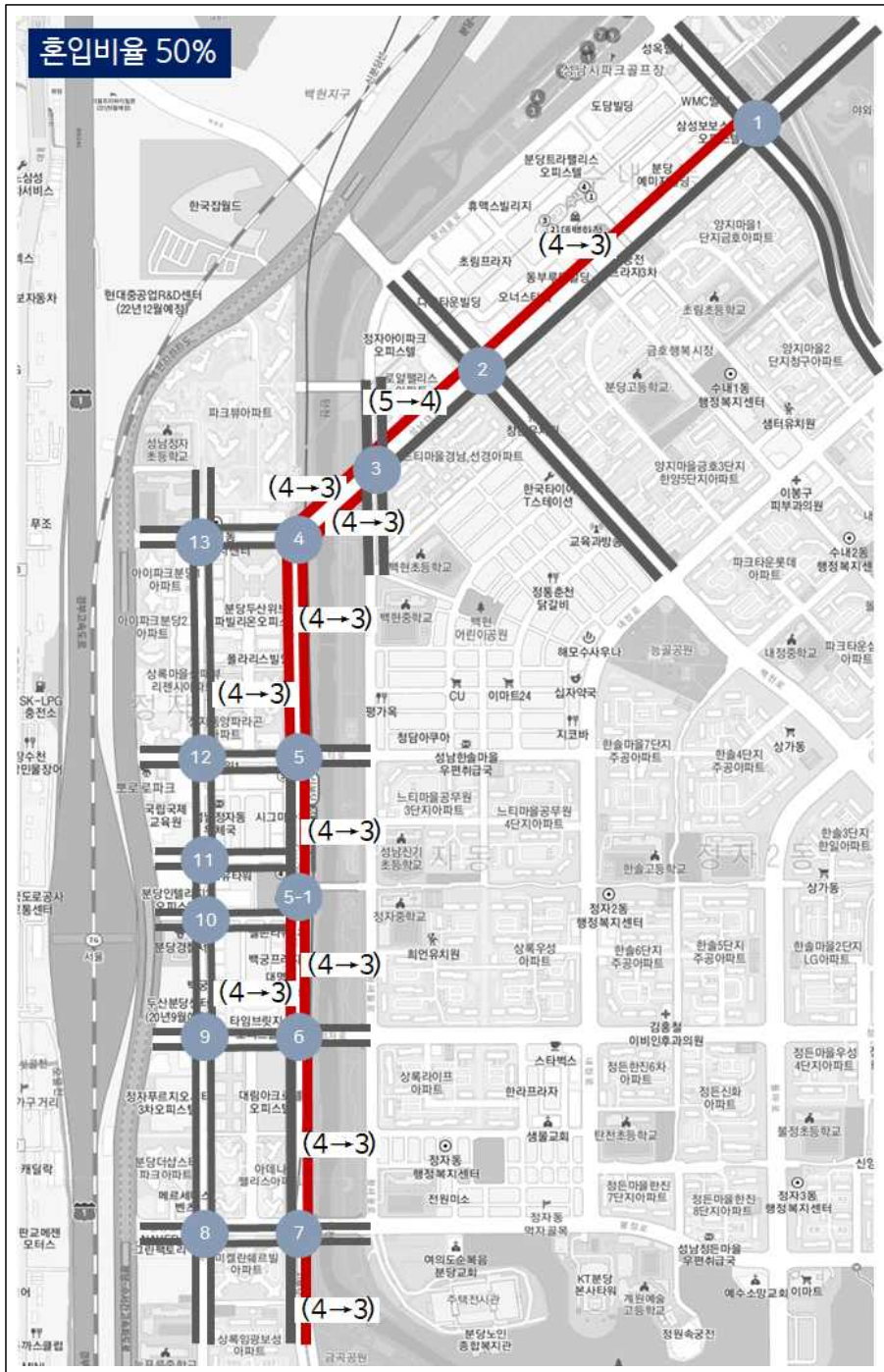
혼입 비율 50%에서는 서비스수준이 C 이상이면서 편도 2차로 이상인 링크가 총 22개였다. 시뮬레이션에서는 22개의 대상 링크에 대해 차선을 줄인 후 다시 시뮬레이션을 수행하여 효과척도를 도출하고 [표 4-9]의 BASE 값과 비교하여 감소 여부를 판단하였다. [표 4-11]은 혼입비율 50%일 때 차로 감소가 가능한 도로 구간을 정리하여 보여주고 있다.

분석 결과 총 11개 차로를 감소할 수 있었으며, 감소 가능한 면적은 12,320㎡로 분석되었다. 이 결과는 분석 대상 도로 총면적 122,675㎡의 10%에 해당한다.

[표 4-11] 자율주행자동차 혼입비율 50%에서 차로 감소 후 네트워크 상태 결과

구분	네트워크 평균 통행시간 (초)	네트워크 평균 통행속도 (km/h)	네트워크 평균 지체 (초)	누적 감소 차로수 (차로)	누적 감소 면적 (㎡)	총 면적대비 감소율
Road diet 1	206.90	24.18	108.81	1	683	0.6%
Road diet 2	206.86	24.25	108.59	2	1,628	1.3%
Road diet 3	207.75	24.02	109.94	3	3,098	2.5%
Road diet 4	207.73	24.09	109.62	4	4,008	3.3%
Road diet 5	209.46	23.90	111.25	5	6,528	5.3%
Road diet 6	209.96	23.78	112.13	6	7,438	6.1%
Road diet 7	210.31	23.78	112.17	7	8,120	6.6%
Road diet 8	211.54	23.60	113.59	8	9,030	7.4%
Road diet 9	211.64	23.60	113.71	9	10,290	8.4%
Road diet 10	213.26	23.45	115.27	10	10,850	8.8%
Road diet 11	215.94	23.13	118.07	11	12,320	10.0%

※ 주 : BASE의 효과척도 값 (평균 통행시간 220.42초, 평균 통행속도 22.79km/h, 평균 지체 124.61초)



[그림 4-15] 자율주행자동차 혼입 비율 50% 차로 감소 결과

2) 자율주행자동차 혼입 비율 100% 분석 결과

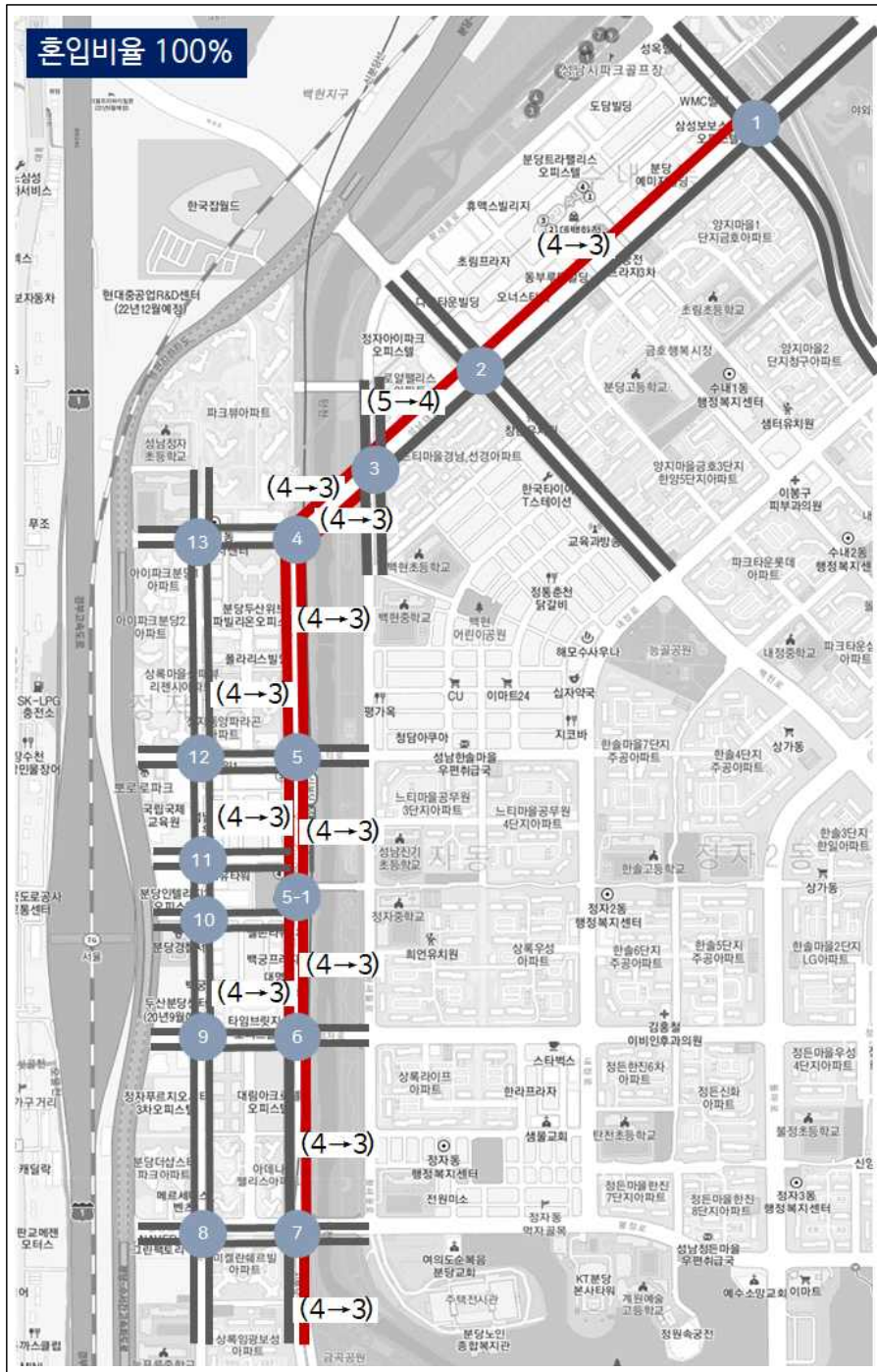
혼입 비율 100%에서는 서비스수준이 C 이상이면서 편도 2차로 이상인 링크는 총 25개였다. 25개의 대상 링크에 대해 차선을 줄인 후 다시 시뮬레이션을 수행하여 효과척도를 도출하고 [표 4-9]의 BASE 값과 비교하여 감소 여부를 판단하였다. [표 4-12]는 혼입비율 100%일 때 차로 감소가 가능한 도로 구간을 정리하여 보여주고 있다.

분석 결과 총 12개 차로를 감소할 수 있었으며, 감소 가능한 면적은 13,230㎡로 분석되었다. 이 결과는 대상 도로 면적의 11%에 해당한다.

[표 4-12] 자율주행자동차 혼입 비율 100%에서 차로 감소 후 네트워크 상태 결과

구분	네트워크 평균 통행시간 (초)	네트워크 평균 통행속도 (km/h)	네트워크 평균 지체 (초)	누적 감소 차로수 (차로)	누적 감소 면적 (㎡)	총 면적대비 감소율
Road diet 1	197.42	25.32	96.76	1	683	0.6%
Road diet 2	197.85	25.23	97.28	2	1,628	1.3%
Road diet 3	198.67	25.09	98.26	3	3,098	2.5%
Road diet 4	198.65	25.09	98.28	4	4,008	3.3%
Road diet 5	199.89	25.00	99.23	5	4,918	4.0%
Road diet 6	201.38	24.74	101.02	6	5,600	4.6%
Road diet 7	201.69	24.72	101.25	7	6,510	5.3%
Road diet 8	213.82	23.07	114.45	8	7,420	6.0%
Road diet 9	216.75	22.80	117.23	9	8,680	7.1%
Road diet 10	216.98	22.76	117.53	10	9,240	7.5%
Road diet 11	217.72	22.68	118.22	11	11,760	9.6%
Road diet 12	220.00	22.45	120.54	12	13,230	10.8%

※ 주 : BASE의 효과척도 값 (평균 통행시간 220.42초, 평균 통행속도 22.79km/h, 평균 지체 124.61초)



[그림 4-16] 자율주행자동차 혼입 비율 100% 차로 감소 결과

제5장

사례 분석을 통한 주차장 및 도로 면적 감소 효과 분석

LANDSLIDE
INITIATIVE

&

제5장 사례 분석을 통한 주차장 및 도로 면적 감소 효과 분석

1. 사례 분석 대상 개요

4장에서 선행 연구와 모델링 분석을 기반으로 자율주행자동차 시대의 주차장과 도로 감소 효과를 살펴보았다. 본 절에서는 앞에서 도출한 결과를 실제 도시에 적용하여 어느 정도 감소 효과가 있는지 산술적으로 도출하였다.

감소 효과를 분석하기 위한 공간적 범위는 시뮬레이션 대상지를 확대하여 경기도 성남시 분당구 전체로 하였다.

1.1. 성남시 분당구의 토지 및 건축물 면적 현황

성남시 분당구 대부분은 [그림 5-1]에서 보듯이 중심부에 경부고속도로를 축으로 기역자(ㄱ)형으로 개발되어 있다. 분당구의 인구는 2020년 10월 기준 48.3만명⁶⁾이며, 총 면적은 69.7km²이다. 이중 개발된 시가화 지역 면적⁷⁾은 44.1%인 30.7km²이다. 건축물의 대지면적은 23.1km²(33.2%), 건축물 연면적은 42.1km²이다. 본 연구의 관심 대상인 도로 면적은 7.6km²(10.9%)이며, 분당구의 도로율은 24.7%이다. 1기 신도시들이 대략 15.2~25.9% 수준⁸⁾이므로 1기 신도시의 특징을 잘 보여주고 있다.

6) 성남시 홈페이지, 성남통계, <https://www.seongnam.go.kr/stat/>

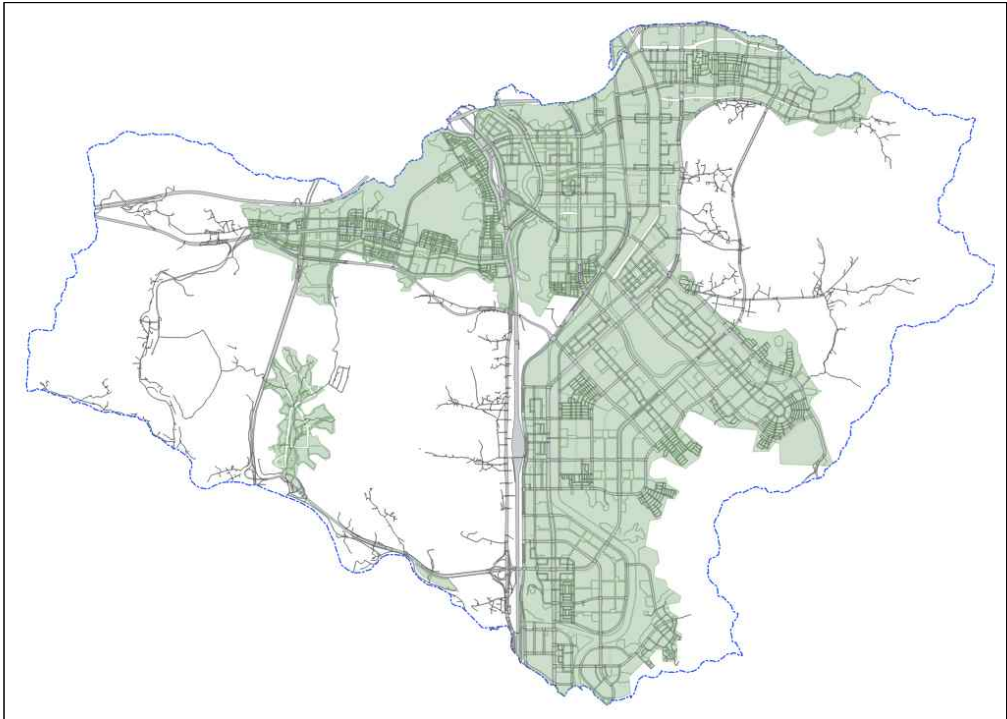
7) 주거, 상업, 공업 지역의 합

8) 윤정중 외.(2020), 3기 신도시 개발전략 및 계획기준 수립 연구, 토지주택연구원, 연구지원 2020-16호, p.100.

[표 5-1] 성남시 분당구의 시가화 지역의 토지 및 건축물 면적

(단위 : km ²)					
분당구 전체면적	개발면적	건축물 대지면적	건축물 연면적	도로 면적	공영주차장 시설면적
69.69	30.72	23.14	42.12	7.57	0.15

자료 : GIS자료 기반



[그림 5-1] 분당구 시가화 지역 분포

1.2. 성남시 분당구 주차장 현황

주차장은 크게 노외주차장, 노상주차장, 부설주차장으로 구분이 가능하다. 노외 및 노상주차장은 공영주차장으로 일반적으로 건물 외부에 존재하며, 대지면적을 산출할 수 있다. 반면 부설주차장은 건축물 내부에 존재하며, 건물 1개 층을 주차장으로 활용할 수도 있지만, 다층으로 구성되어 있다.

분당구의 주차장 면수는 노상주차장 702면, 노외주차장 5,664면, 부설주차장 283,854면으로 총 290,200면이다. 노상과 노외주차장은 전체 면수의 2.2%에 불과할 정도로 절대다수가 부설주차장으로 구성되어 있다. 면적기준으로 노외주차장은 14.2만㎡, 노상주차장은 0.8만㎡로 두 주차장 유형을 합쳐 1.5만㎡에 불과하다. 분당구 시가화 지역 면적의 0.5%에 불과하다.

반면 분당구의 차량 등록대수는 196,665대이며, 성남시 전체의 52.6%이다. 이 중 자가용이 93.5%로 가장 많다. 성남시의 타 지역과 비교하면 이륜차의 등록대수가 낮은 것이 특징이다.

주차장 확보율은 147.6%이며, 성남시의 다른 구에 비해 주차장 확보율이 높다. 서울시의 경우 강남3구 평균 141%, 비강남권 평균 130% 정도⁹⁾이며, 경기도의 경우 평균 101.7%(최고 288.8%(동두천시), 최저 44.%(양평군))이다¹⁰⁾. 분당구의 경우 타 지역에 비해서도 전반적으로 주차장 확보율이 높은 지역에 속한다.

[표 5-2] 성남시 차량등록대수와 주차면 현황

구분	차량 등록대수 (대)				주차면수 (면)			
	합 계	자가용	영업용	이륜차	합 계	노외	노상	부설
성남시	374,176	332,522	14,943	26,711	435,075	20,581	7,992	406,502
수정구	91,373	77,281	3,431	10,661	69,518	6,461	2,240	60,817
중원구	86,138	71,364	4,287	10,487	75,357	8,476	5,050	61,831
분당구	196,665	183,877	7,225	5,563	290,200	5,644	702	283,854

자료 : 성남통계, 최신통계: 건설교통수도,

https://www.seongnam.go.kr/stat/newStat/newStat.do?menuIdx=1001713&p_category_idx=9&category_idx=63

9) 신아일보, “서울시, 주차장 확보 총력...2022년까지 6642면 신규 조성”, 2019. 02.19.

10) 경기도교통정보센터 홈페이지, 교통DB, 교통시설, 주차시설, <https://gits.gg.go.kr/web/main/index.do>

2. 부설주차장 면적 감소 효과 분석

2.1. 부설주차장 단위 면적 분석

분당구의 노상과 노외주차장의 면적이 시가화 면적 대비 0.5%에 불과하다. 따라서 노상과 노외주차장 규모 감소가 분당구 전체 주차장 규모 감소에 큰 영향을 주기 어렵다는 것을 쉽게 인지할 수 있다. 더욱이 노상과 노외주차장의 경우 분당구 대지면적이나 시가화 면적을 기준으로 비교 및 분석할 수 있지만, 부설주차장의 경우는 연면적을 기준으로 분석할 수밖에 없다. 문제는 노상 및 노외주차장의 경우, 정확한 조사가 어렵다는 것이다. 지도상으로는 물론이며, 지자체가 보유한 자료로도 정확한 위치와 면적을 찾을 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 부설주차장만을 대상으로 분석하였다. 부설주차장의 비율이 93%에 이르기 때문에 분석 결과의 신뢰성에 큰 문제가 없다고 판단된다.

「주차장 설치 및 관리 조례」에 의해 건축물의 용도에 따라 법정 주차대수가 정해져 있고, 이에 따라 건축비의 비율이 달라진다. 시설물 종류는 「건축법」 시행령 별표1의 규정에 의해 단독주택, 공동주택, 문화 및 집회시설, 종교시설, 업무시설, 의료시설, 교육연구시설 등으로 총 29개의 용도별 건축물 종류를 정의하고 있다.

시설물 종류에 따른 부설주차장 단위 면적을 분석하기 위하여 공동주택, 업무시설, 병원, 숙박시설, 문화 및 집회시설 등의 교통영향평가 보고서를 활용하여 [표 5-3]과 같이 대지면적, 연면적, 주차장 면적 등의 정보를 수집하였다.

분석 결과 공동주택은 주차면 1면당 차지하는 면적이 평균 37.93㎡ 수준으로 나타났고, 업무시설은 평균 30.3㎡ 수준이었으며, 의료시설 등 기타 시설은 24.2㎡ 수준으로 분석되었다.

[표 5-3] 건축물 용도별 주차장 단위 면적

구분	지역	주차장면적 (㎡)			주차장면수 (면)			대지면적 (㎡)	연면적 (㎡)	지상주차장면적/ 대지면적	주차장 연면적/ 연면적	1 주차면당 차지하는 면적 (㎡)
		지상	지하	합계	지상	지하	합계					
공동주택 A	서울	-	45,572	45,572	-	1,240	1,240	49,018	133,478	-	33.75%	36.75
공동주택 B	서울	-	26,227	26,227	-	750	750	33,155	87,890	-	29.84%	34.97
공동주택 C	경기	-	50,574	50,574	-	1,303	1,303	29,142	139,787	-	36.18%	38.81
공동주택 D	경기	-	35,509	35,509	-	893	893	11,528	106,019	-	35.66%	39.76
공동주택 E	경기	-	46,255	46,255	-	1,174	1,174	32,270	143,114	-	32.32%	39.40
공동주택 평균	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37.9
업무시설 A	대전	1,290	5,422	6,712	45	189	234	12,323	30,099	10.47%	22.30%	28.68
업무시설 B	대전	-	7,987	7,987	-	235	235	2,816	29,149	-	27.40%	33.99
업무시설 C	대전	-	7,935	7,935	-	230	230	2,783	28,905	-	27.45%	34.50
업무시설 D	서울	-	1,847	1,847	-	58	58	4,236	10,594	-	17.43%	31.84
업무시설 평균	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.3
병원 A	서울	5,382	20,708	26,090	238	917	1,155	67,888	134,043	7.93%	19.46%	22.59
병원 B	대전	-	7,517	7,517	-	160	160	2,927	23,286	-	32.29%	46.98
생활숙박시설	대전	491	11,518	12,009	7	283	290	2,854	40,921	17.21%	29.35%	41.41
문화 및 집회시설	충남	8,927	-	8,927	347	-	347	324,638	52,000	2.75%	17.17%	25.73
기타시설 평균	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.2

2.2. 자율주행자동차에 의한 주차장 감소 효과

자율주행자동차에 의한 주차장 감소 효과에 대해 앞서 살펴보았던 선행 연구들을 기반으로 간략하게 [표 5-4]에 정리하였다. 이 표는 모든 자동차가 자율주행자동차인 시대를 가정하고, 공유자율주행자동차의 점유비율에 따라 주차장 감소비율을 제시하고 있다. 공유자율주행자동차 비율이 0%라는 의미는 개인이 자동차 공유나 승차공유를 전혀 하지 않는다는 것이고, 100%는 모든 통행을 공유자율주행자동차가 완전히 대체한다는 것을 의미한다. [표 5-4]에서 보듯이 주차장 감소 비율은 공유자율주행자동차 비율에 따라 최소 66%, 최대 93%로 다양한 예측이 존재하고 있다.

[표 5-4] 완전자율주행자동차시대의 공유자율주행자동차 비율 변화에 따른 주차면 감소비율 추정

공유자율주행자동차 점유 비율	주차장 감소 비율
0%	10%
20%	14%
40%	28%
100%	66% ~ 93%

2.3. 자율주행자동차 도입에 따른 주차면 감소 예측

1) 분당구 부설주차장 연면적

부설주차장은 건축물 내부에 지상 또는 지하와 같이 다양한 형태로 존재하고 있다. 따라서 대지면적이 아닌 연면적으로 산출하는 것이 합리적이다.

부설주차장의 규모와 연면적을 계산하기 위해 원단위를 산출하여 [표 5-5]와 같이 부설주차장의 주차면 1면이 차지하는 실질적인 공간을 산정하였다. 주차장은 법적으로 규정된 주차면과 차량의 진·출입 통로로 구성되어 있다. 실제 주차장의 면적은 단순히 주차면의 합이 아닌 부가적인 공간을 모두 포함하여 산출하여야 한다.

본 연구에서는 이 주차면과 부가적인 공간을 모두 고려한 주차면을 실질단위 면적이라 정의하고, [표 5-3]에서 보여준 사례를 검토하여 [표 5-5]와 같이 도출하였다.

[표 5-5] 부설주차장 1주차면당 실질면적(실질단위면적)

(단위 : m²)

주거	업무/상업	기타
37.9	30.3	24.2

부설주차장의 건물 용도별 주차장 면적을 계산하기 위해 먼저 분당구의 건축물의 연면적을 용도별로 계산하였다. 용도는 크게 주거, 업무/상업, 기타용도로 구분하였다. 건축물 연면적 분포를 보면 주거용 건물의 연면적이 전체 연면적의 63%이며, 업무/상업용이 25%, 기타 12%로 구성되어 있다. 연면적 비율을 기준으로 부설주차장의 주차면수와 면적을 추정한 결과는 [표 5-6]과 같다.

[표 5-6] 분당구 부설주차장의 유형별 추정 주차장 면적

구분	주거	업무/상업	기타	합계
건축물 연면적 (m ²)	26,353,577 (63%)	10,704,298 (25%)	5,057,211 (12%)	42,115,087 (100%)
주차면수 (면)	177,622	7,2146	34,085	283,854
주차장 면적 (m ²)	6,738,626	2,326,906	1,164,954	1,023,486

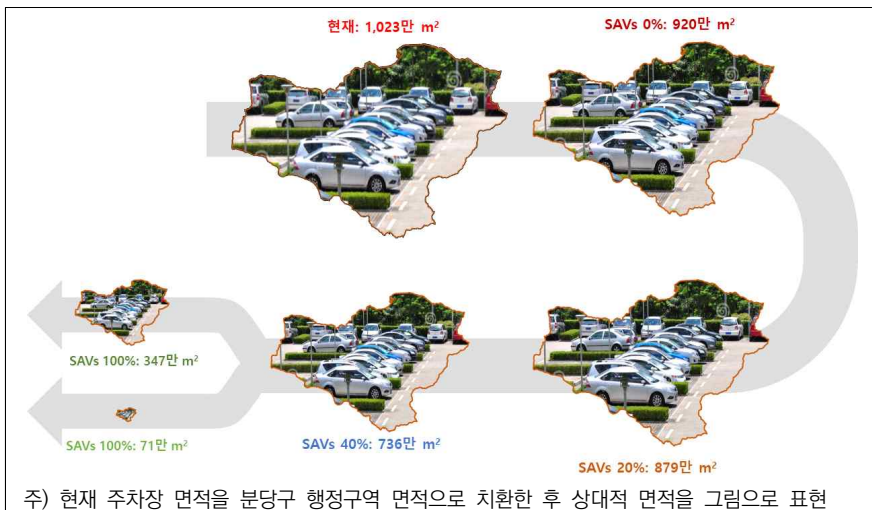
2) 자율주행자동차 도입에 따른 미래 주차장 감소 면적 추정

앞에서 산출한 실질단위면적을 기준으로 공유자율주행자동차의 활성화 정도에 따라 감소가 예상되는 주차면과 주차장 면적으로 구하였다. [표 5-7]에서 공유자율주행자동차 점유율을 100%일 때 주차장 감소율이 66%와 93%로 제시하고 있는데, 이것은 선행 연구 결과의 최소치와 최대치를 의미한다.

[표 5-7] 공유자율주행자동차 점유율 증가에 따른 주차장 면적과 연면적 기준 감소 비율

공유 자율주행자동차 점유율	주차장 감소율 (%)	용도별 주차장 감소 면적 (m ²)				주차장 면적 (m ²)
		주거	업무/상업	기타	합계	
-	현재기준	0	0	0	0	10,230,486
0%	10	673,863	232,691	116,495	1,023,049	9,207,437
20%	14	943,408	325,767	163,094	1,432,268	8,798,218
40%	28	1,886,815	651,534	326,187	2,864,536	7,365,950
100%	66	4,447,493	1,535,758	768,870	6,752,121	3,478,365
100%	93	6,266,922	2,164,023	1,083,407	9,514,352	716,134

현재 분당구에서 부설주차장으로 사용되는 건물 연면적은 10,230,486m²이다. 공유자율주행자동차의 비율이 100%라고 가정했을 때, 분당구에서 예상 감소 주차장 면적은 최소 675.2만m²이며, 최대 951.4만m²이다. 이 감소 면적의 의미는 현재 주차장으로 사용되는 있는 16~23%의 건물 공간을 다른 용도로 사용할 수 있다는 의미이다. 지하주차장의 경우 다른 용도로 활용할 수도 있지만, 지하 공간을 줄이거나 없앤다면 건축비 절감을 기대할 수 있다. [그림 5-2]는 주차장의 면적을 분당구의 행정구역으로 표현하여, 감소의 효과를 시각적으로 표현하였다.



[그림 5-2] 공유자율주행자동차 비율 증가에 따른 주차장 면적 변화

3. 자율주행자동차에 의한 도로 감소 효과 분석

3.1. 선행 연구에 따른 도로 용량 변화

본 연구는 교차로를 포함하는 도시부 도로의 용량 변화에 관심이 있다. 선행 연구 중에서 도시부 도로에 관한 연구를 살펴보면, Bichiou & Rakha(2018)과 Zohdy & Rakha(2013)의 연구가 이에 해당한다. 이들의 연구는 교차로 지체를 대상으로 하고 있는데, 도시부 도로 용량이 결국 교차로에 의해 결정이 난다고 할 때 합리적이라 할 수 있다. 이들의 연구 결과에 따르면 교차로의 지체는 70~80% 수준으로 감소한다고 하였다. 다시 말해 자율주행자동차에 의해 도로 용량은 20~30% 증가한다고 할 수 있다.

3.2. 교통 시뮬레이션에 따른 도로 용량 변화

제4장 3.1절에서 자율주행자동차의 혼입 비율이 증가하면 도로 네트워크의 통행 시간, 통행속도, 지체가 어떻게 변하는지 설명하였다. 혼입 비율이 100%일 때 평균 통행시간과 평균 지체는 각각 약 13%와 32% 감소하였으며, 평균 통행속도는 약 13% 증가하는 것으로 분석되었다([표 4-7]).

이 결과로부터 자율주행자동차로 인해 도로 용량이 증가하고, 도로의 감소를 기대할 수 있다. 그리고 제4장의 3.3절에서는 자율주행자동차 혼입 비율이 각각 50%와 100%일 때, 최소한 현재(BASE) 서비스수준을 유지하는 조건에서 어느 정도 차로 감소가 가능한지 분석하였다.

대상 지역의 52개 구간([표 4-10]) 중 혼입 비율이 50%일 때 11개 차로, 100%일 때 12개 차로를 줄일 수 있었다([표 4-11], [표 4-12]). 분석 대상 도로 면적 대비 10~11%의 도로 면적을 줄일 수 있었다. 시뮬레이션 상에서는 차로 감소가 가능한 도로는 편도 4차로 이상의 차로에서만 가능하였으므로 [표 5-8]과 같이 편도 4차로 이상 도로와 3차로 이하 도로를 구분하였다.

[표 5-8] 자율주행자동차 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서 도로 감소 비율

자율주행자동차 혼입비율	도로 면적 (m ²)		감소 면적 (m ²)	감소 비율 (%)
50%	편도 4차로 이상	65,205	12,320	18.9
	편도 3차로 이하	57,470	-	-
100%	편도 4차로 이상	65,205	13,230	20.3
	편도 3차로 이하	57,470	-	-

차로수 구분 없이 감소율을 산출하여 분당구 전체 도로에 적용하면 실제 감소 대상이 아닌 편도 3차로 이하 차로를 포함하게 된다. 이로 인해 추정 도로 감소 면적이 과도하게 되는 문제를 유발하게 된다.

본 연구의 시뮬레이션 분석 결과 현재의 통행 서비스 수준을 유지하면서 감소 가능한 도로 면적이 약 18.9~20.3%로 분석되었다. 도로 면적을 20% 정도 감소할 수 있다는 것은 결국 도로 용량이 20% 정도 늘었다는 의미이다. 이는 선행 연구의 도로 용량 20%와 비슷하다. 따라서 도로 면적 감소량 추정을 위해 본 연구의 시뮬레이션 결과를 사용하는 것은 합당하다고 판단할 수 있다.

3.3. 도로 면적 감소 예측

1) 차로수별 분당구 도로 면적

분당구의 도로를 면적 기준으로 분류하면 먼저 전체 면적은 756.9만m²이다. 이중 왕복 7차로 이상 도로의 면적이 149.1만m²(19.7%), 5~6차로 도로의 면적이 221.9만m²(29.3%), 4차로 이하 도로의 면적이 전체의 51%인 386만m²이다 ([표 5-9]).

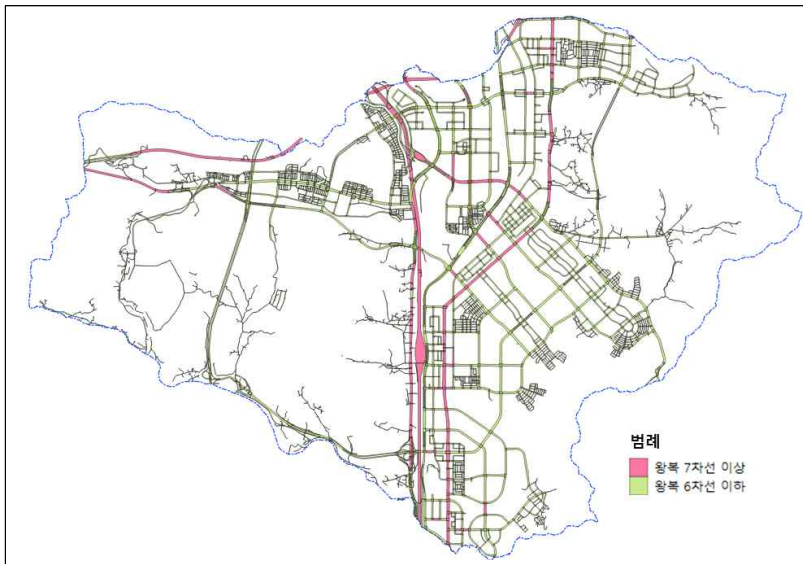
[표 5-9] 분당구의 도로 차로수 별 면적(왕복 기준)

차로수	면적 (m ²)	비율 (%)
7차로 이상	1,491,210	19.7
5-6차로	2,219,201	29.3
4차로 이하	3,859,076	51.0
합계	7,569,486	100.0

자료 : 국가교통DB 자료 및 새주소 사업 도로 자료

도로 면적 감소 분석에서 왕복 7차로 이상의 도로가 고려 대상이 된다. 시뮬레이션 결과에서 편도 4차로 이상의 경우에만 차로 감소가 가능하였기 때문이다. 따라서 이는 최소한 한쪽 진행 방향으로 편도 4차로를 가지고 있는 도로, 즉 왕복 7차로 (편도 4차+편도 3차) 이상의 도로가 대상이 되는 것이다.

[그림 5-3]은 왕복 7차로 이상인 도로와 왕복 6차로 이하 도로를 보여주고 있다. 차로 감소를 고려할 수 있는 왕복 7차로 이상 도로는 대부분 도시 중심부에 위치 하며, 주요 간선도로에 국한되어 있다.



[그림 5-3] 분당구 도로 네트워크

2) 도로 감소 면적 추정

본장 3.2절에서 설명한 도로 감소율을 사용하여 분당구의 도로 감소 면적을 추정하였다.

자율주행자동차 혼입비율이 50%일 때는 18.9%, 혼입비율이 100%일 때는 20.3%를 적용하였다. 단, 감소율은 앞에서 언급했듯이 왕복 7차로 이상의 도로에만 적용하여 감소하는 면적을 산출하였다.

도로의 감소 면적은 자율주행자동차의 혼입 비율이 50%일 때는 28만㎡로 시가화 면적(307.2만㎡) 대비 9.2%, 100%일 때는 30.2만㎡로 시가화 면적(307.2만㎡) 대비 약 9.8%로 나타났다. 주차장 면적의 감소에 비해 획기적으로 감소하지는 않았다. 이는 6차로 이하 도로에서는 실제 차로 감소를 기대하기 어렵기 때문이다. 그러나 본 연구의 분석에 활용된 운행 차량 대수는 현재 차량대수를 기준으로 하였기 때문에 물리적으로 차로를 줄이는 것은 한계가 있음이 분명하다. 하지만 공유자율주행자동차가 활성화된다면, 승용차 수가 많이 줄어들 것이기 때문에 더 많은 차로 감소를 기대할 수 있을 것이다.

[표 5-10] 자율주행자동차 혼입비율에 따른 감소 도로 면적

자율주행자동차 혼입비율(%)	도로 면적(m ²)		적용 감소율(%) ⁺	감소 면적 (m ²)	시가화 지역 면적 대비 감소비율(%)
0%(현재)	왕복 7차로 이상	1,491,210	-	-	
	왕복 6차로 이하	6,078,277			
50%	왕복 7차로 이상	1,209,372	18.9	281,838	9.2
	왕복 6차로 이하	6,078,277		-	-
100%	왕복 7차로 이상	1,188,494	20.3	302,716	9.8
	왕복 6차로 이하	6,078,277		-	-

+ 감소율은 왕복 7차로 이상 도로에만 적용함

제6장 결론

LANDING THE
HONSTUTE
LI

제6장 결론

자율주행자동차는 도시 공간의 구조에 큰 변화를 줄 것이다. 그중 주차장 감소와 도로 용량 증가로 인한 도로폭의 감소로 인한 영향이 가장 클 것이다. 도시 내 주차장이 줄면 오늘날의 공동주택이나 상업시설의 설계에도 큰 변화가 있을 것이다. 새로운 건축물은 공사비가 절감되거나, 더 유용한 시설 공급의 여유가 생길 것이다. 도로 용량이 증가하면, 지금과 같은 광로와 대로가 불필요해져 도시 개발에 필요한 대지면적을 줄일 수 있고, 보행자도로나 녹지대를 크게 확장할 수도 있을 것이다.

도시 개발은 일반적으로 기획부터 준공까지 10년 이상이 소요되는 장기 프로젝트이다. 따라서 자율주행자동차 시대의 주차장과 도로의 변화를 추정하고 명확히 이해하는 것은 미래 도시계획의 변화에 대응하는데 있어 매우 중요하다. 이에 본 연구는 자율주행자동차가 일상화될 것으로 예상되는 2030년 이후의 도시 공간 구조의 변화를 이해하는데 필요한 주차장 및 도로 감소 효과를 파악하고자 깊이 있게 선행 연구를 고찰하였고, 미래 도시를 상정한 교통 시뮬레이션을 수행하였다.

먼저 분당구의 부설주차장을 주차장 통로를 포함한 한 개 주차면의 실질적인 면적을 조사한 결과, 주거 용지 내 부설주차장은 37.9㎡, 업무/상업 용지는 30.3㎡, 기타 24.2㎡였다. 이를 적용한 분당구 내 주차장은 주차면수 283,854면, 면적은 10,230,486㎡였다. 분당구의 전체 건축물 연면적이 42,115,087㎡이므로 주차장은 전체 건축물의 24.3%를 차지하고 있는 것이다. 선행 연구를 살펴본 결과, 자율주행자동차는 조건에 따라 최소 10%에서 최대 93%까지의 주차장 감소 효과를 제시하고 있다. 이 감소율을 분당구에 적용한 결과, 주차장은 현재의 10,230,486㎡에서 최대 716,134㎡까지 감소하였다. 이 결과를 좀 더 자세히 살펴보면, 공유 자율주행자동차가 주차장 감소에 결정적 역할을 한다는 것을 알 수 있었다. 공유 자율주행자동차 비율이 0%일 경우, 다시 말해 자율주행자동차를 전혀 공유하지 않을 때 주차장 감소율은 10%에 머물기 때문이다. 자율주행자동차의 등장으로 라이드셰어링이나 카셰어링과 같은 공유교통의 역할과 비율이 크게 증가할 것이란

예측이 있다. 하지만 그 비율이 어느 정도 확대될 것인가에 대해서는 다양한 견해가 있어 현 단계에서는 주차장 감소 효과를 정확하게 추정하는데 한계가 있다. 다만, 완성차 업체조차도 공유서비스 사업에 적극적으로 투자하고 있는 현실을 볼 때, 상당 수준의 공유자율주행자동차 확대를 예상할 수 있다고 생각한다.

두 번째로 자율주행자동차가 도로 용량에 어떠한 영향을 미칠 것인가를 파악하기 위해 교통 시뮬레이션을 수행하였다. 마이크로 시뮬레이션이란 한계가 있어 대상 구간은 13개 교차로, 52개 링크로 구성된 정자역 일대의 지역을 선정하였다. 본 연구는 시뮬레이션을 보다 정교하게 구축하기 위해 실제 통과 교통량과 신호 주기를 조사하여 적용하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 편도 4차로 이상의 도로에서 차로 감소가 이루어졌고, 감소 비율은 자율주행자동차 비율이 50%일 때는 18.9%, 100%일 때는 20.3%로 나타났다. 분당구 전체를 대상으로 적용하면, 자율주행자동차 비율이 50%일 때는 시가지 면적 대비 9.2%, 100%일 때는 9.8%의 면적 감소를 보였다. 이 결과는 선행 연구 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 게다가 고속도로와 같은 연속류에서는 100% 이상의 도로 용량 증가가 나타났지만, 교차로를 포함하는 도심에서는 도로 용량의 큰 증가를 기대하기 어렵다는 점을 확인할 수 있었다. 도로 용량의 제한적 증가는 결국 신호체계의 한계라고 생각한다. 따라서 도시 내 도로 용량 증가 효과를 높이기 위해서는 미래 신호체계의 변화가 절실하다고 판단된다. 아무리 자율주행자동차의 출발지연과 정교한 주행 능력을 갖고 있다고 해도 신호체계가 따라주지 못할 경우, 그 효과는 한계가 있을 수밖에 없기 때문이다. 따라서 향후 연구에서는 자율주행자동차의 주행능력에 따른 다양한 신호체계를 적용할 필요가 있다. 가령, 광로와 대로에서의 비보호 좌회전, 중로와 소로에서의 무신호 기반의 신호체계가 있을 것이다.

연구 결과의 한계가 존재함에도 불구하고, 본 연구는 자율주행자동차 시대의 주차장과 도로 감소 효과를 제시하였으며, 그 효과는 도시를 구성하는 건축물의 변화나 도로 감소에 따른 도시 개발면적의 감소나 보도와 녹지대 확충에 대한 가능성을 충분히 보여주고 있다고 생각한다.

참 고 문 헌

LAND INSTITUTE
LAND INSTITUTE
LAND INSTITUTE

참고문헌

[국내문헌]

- 고용석 외(2019), 「도로 공공성 및 미래여건변화를 고려한 통행시간가치 추정연구」,
국토연구원
- 국토교통부 내부자료 (2020), 2020년 선정 자율주행자동차 시범운행지구 현황
- 김은지(2017), 「VISTRO를 활용한 교통영향평가 분석기법에 관한 연구」, 공주대학교
석사학위 논문
- 다나카 미치아키(2019), 「2022 누가 자동차 산업을 지배하는가」, 한스미디어, 류두진,
문세나 옮김
- 산업통상자원부, 미래창조과학부, 국토교통부(2016), 경찰청, 자율주행 산업융합 혁신사업.
서울연구원 자율주행버스 시범 운행 '인기 높아 (독일 베를린 시), 세계도시동향, 2020.02.24
- 신아일보, “서울시, 주차장 확보 총력...2022년까지 6642면 신규 조성”, 2019. 02.19.
- 유성준 외(2017), 「TPCLT 신호체계 도입 타당성 및 효과분석 연구」, 도로교통공단
- 윤정중 외.(2020), 「3기 신도시 개발전략 및 계획기준 수립 연구」, 토지주택연구원 p.100.
- 정은비(2015), “도로교통시물레이션”, 포항공대신문
(<http://times.postech.ac.kr/news/articleView.html?idxno=8807>)
- 토지주택공사 공간정보시스템, 내부자료

[국외문헌]

- Alessandrini, A., Campagna, A., Delle Site, P., Filippi, F., Persia, L.(2015),
Automated vehicles and the rethinking of mobility and cities,
Transportation Research Procedia, 5, pp.145-160.
- Ambühl, L., Ciari, F., Menendez, M.(2016), What about space? A simulation
based assessment of AVs impact on road space in urban areas, Paper

presented at the 16th Swiss transport research conference.

Auld, J., Sokolov, V., Stephens, T. S.(2017), Analysis of the effects of connected-automated vehicle technologies on travel demand, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2625, pp.1-8.

Auld, J., Verbas, O., Javanmardi, M., Rousseau, A.(2018), Impact of privately-owned level 4 CAV technologies on travel demand and energy, Procedia Computer Science, 130, pp.914-919.

Axhausen, K. W., Gärling, T.(1992), Activity-based approaches to travel analysis: Conceptual frameworks, models, and research problems, Transport Reviews, 12(4), pp.323-341.

Bangemann, C.(2017), Simulation einer urbanen Mobilitätslösung basierend auf autonom fahrenden ERobotaxen in München, TU München: Berylls Strategy Advisors.

Beiker, S.(2018), Deployment of automated driving as an example for the San Francisco Bay area, In G. Meyer, S. Beiker (Eds.), Road vehicle automation 5 (pp.117-129). Cham: Springer.

Bertolini, L.(2012), Integrating mobility and urban development agendas: A manifesto, Disp - The Planning Review, 48(1), pp.16-26.

Bertolini, L.(2017), Planning the mobile metropolis, Transport for people, places and the planet. London: Palgrave.

Bischoff, J., Maciejewski, M.(2016), Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in Berlin, Procedia Computer Science, 83, pp.237-244.

BlaBlaCar(2018), How chatty are you in the car? Retrieved from:
<https://www.blablacar.com/blog/blablalife/travel-tips/chatty>

Boesch, P. M., Ciari, F., Axhausen, K. W.(2016), Autonomous vehicle fleet sizes

- required to serve different levels of demand, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2542, pp.111-119.
- Boesch, P., Ciari, F., Axhausen, K.(2018), Transport policy optimization with AVs, Paper presented at the TRB annual meeting.
- Boston Consulting Group(2014), Revolution in the driver's seat: The road to autonomous vehicles.
- Burghout, W., Rigole, P. J., Andreasson, I. J.(2014), Impacts of shared autonomous taxis in a metropolitan area, Paper presented at the TRB annual meeting, Washington D.C.
- Burns, L. D., Jordan, W. C., Scarborough, B. A.(2013), Transforming personal mobility, New York, NY: Earth Institute Columbia University.
- Chen, D., Hanna, J., Kockelman, K. M.(2016), Operations of a shared, autonomous, electric vehicle (SAEV) fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions, *Transport Research Part A*, 94, pp.243-254.
- Chen, D., Kockelman, K. M. (2016), Management of a shared autonomous electric vehicle fleet, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2572, pp.37-46.
- Childress, S., Nichols, B., Charlton, B., Coe, S.(2015), Using an activity-based model to explore possible impacts Of automated vehicles, Paper presented at the TRB annual meeting.
- Choi, S., Thalmayr, F., Wee, D., Weig, F.(2016), Advanced driver-assistance systems: challenges and opportunities ahead, McKinsey & Company.
- Correia, G., Milakis, D., van Arem, B., Hoogendoorn, R.(2015), Vehicle automation and transport system performance, In M. Bliemer, C. Mulley, C. J. Moutou(Eds.), *Handbook on transport and urban planning in the developed world* (pp.498-516), Cheltenham: Edward Elgar.
- Correia, G., van Arem, B.(2016), Solving the user optimum privately owned

- automated vehicles assignment problem (UO-POAVAP): A model to explore the impacts of self-driving vehicles on urban mobility, Transportation Research Part B, 87, pp.64-88.
- Cyganski, R., Fraedrich, E., Lenz, B.(2015), Travel-Time valuation for automated driving: A Use-casedriven study, Paper presented at the TRB annual meeting.
- European Commission.(2016), Gear 2030 discussion paper. Roadmap on highly automated vehicles, Directorate-general for internal market, industry, entrepreneurship and SMEs.
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M.(2014), The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40, pp.1-13.
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M.(2015), Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendation for capitalizing on self-driven vehicles, Transportation Research Part A 77: pp.167-181.
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. M.(2016), Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas. Transportation.
- Fagnant, D., Kockelman, K. M., Bansal, P.(2015), Operations of shared autonomous vehicle fleet for Austin, Texas, market, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2536, pp.98-106.
- Fernandez, P., Nunes, U.(2012), Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles-Strategies to mitigate communication delays, Improves safety and traffic flow, IEEE transactions on ITS, pp.91-106
- Friedrich, M., Hartl, M.(2016), Schlussbericht MEGAFON – Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs, Stuttgart: University of Stuttgart, Institute for Road and Transport Science.
- Gelauff, G., Ossokina, I., Teulings, C.(2017), Spatial effects of automated

- driving: Dispersion, concentration or both, The Hague: KIM - Netherlands Institute for Transport Policy Analysis.
- Gucwa, M.(2014), Mobility and energy impacts of automated cars. Analysis using MTC travel model One, Paper presented at the automated vehicle symposium.
- Hansen, W. G.(1959), How accessibility shapes land Use, Journal of the American Institute of Planners, 25(2), pp.73-76.
- Hawkins, J., Habib, K. N.(2018), Integrated models of land use and transportation for the autonomous vehicle revolution, Transport Reviews.
- Heilig, M., Hilgert, T., Mallig, N., Kagerbauer, M., Vortisch, P.(2017), Potentials of autonomous vehicles in a changing private transportation system - a case study in the Stuttgart region, Transportation Research Procedia, 26, pp.13-21.
- Heinze, G. W.(1989), Lösungsstrategien des Verkehrswachstums als Optionen der Verkehrswirtschaft, In: Hesse, M.(Hrsg.), Verkehrswirtschaft, auf neuen Wegen? Marburg: Metropolis, pp.37-75.
- Hörl, S., Erath, A., Axhausen, K. W.(2016), Simulation of autonomous taxis in a multi-modal traffic scenario with dynamic demand, Zurich: Institute for Transport Planning and Systems. ETH Zurich.
- Zohdy, I., Rakha, H.(2013), Enhancing roundabout operation via vehicle connectivity, Transportation Research Record of Journal of the Transportation Research Board, No.2381, pp.91-100.
- ITF (International Transport Forum)(2015), Urban mobility system. Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic, Corporate Partnership Board Report. OECD.
- Jones, P. M., Dix, M. C., Clarke, M. I., Heggie, I. G.(1983) Understanding travel behaviour Aldershot: Gower.
- Kasraian, D., Maat, K., Stead, D., van Wee, B.(2016), Long-term impacts of

- transport infrastructure networks on land-use change: An international review of empirical studies. *Transport Reviews*, 36(6), pp.772-792.
- Kim, K., Rousseau, G., Freedman, J., Nicholson, J.(2015a), The travel impact of autonomous vehicles in metro Atlanta through activity-based modeling, Paper presented at the 15th TRB national transportation planning applications conference.
- Kim, K. H., Yook, D. H., Ko, Y. S., Kim, D. H.(2015b), An analysis of expected effects of the autonomous vehicles on transport and land use in Korea, Anyang: New York University, Marron Institute of Urban Management.
- Kitamura, R.(1988), An evaluation of activity-based travel analysis, *Transportation*, 15, pp.9-34.
- Kornhauser, A. L.(2013), Smart driving cars: Transit opportunity of NHTSA level 4 driverless vehicles, Paper presented at the TRB automated vehicle workshop.
- Kröger, L., Kuhnimhof, T., Trommer, S.(2018), Does context matter? A comparative study modelling autonomous vehicle impact on travel behaviour for Germany and the USA, *Transportation Research Part A*.
- Levin, M. W., Kockelman, K. M., Boyles, S. D., Li, T.(2017), A general framework for modeling shared autonomous vehicles with dynamic network-loading and dynamic ride-sharing application. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, pp.373-383.
- Le Vine, S., Zolfaghari, A., Polak, J.(2015), Autonomous cars: The tension between occupant experience and intersection capacity, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 52, pp.1-14.
- Liu, J., Kockelman, K. M., Boesch, P. M., Ciari, F.(2017), Tracking a system of shared autonomous vehicles across the Austin, Texas network using

agent-based simulation. Transportation.

Litman., T.(2015), Autonomous vehicle implementation prediction:

Implications for transport planning, Victoria Transport Policy Institute

Llorca, C., Moreno, A. T., Moeckel, R.(2017), Effects of shared autonomous

vehicles on the level of service in the greater Munich metropolitan

area, Paper presented at the international conference on intelligent

transport systems in theory and practice, Mobil.TUM, Munich.

Luis Martinez(2015), Urban mobility system upgrade: How shared self-driving

cars could change city traffic, International Transport Forum report.

Martinez, L. M., Viegas, J. M.(2017), Assessing the impacts of deploying a

shared self-driving urban mobility system: An agent-based model

applied to the city of Lisbon, Portugal, International Journal of

Transportation Science and Technology, 6, pp.13-17.

Meyer, J., Becker, H., Boesch, P. M., Axhausen, K. W.(2017), Autonomous

vehicles: The next jump in accessibilities? Research in Transportation

Economics, 62, pp.80-91.

Milakis, D., van Arem, B., van Wee, B.(2017), Policy and society related

implications of automated driving: A review of literature and directions for

future research. Journal of Intelligent Transportation Systems, 21(4), pp.324-348.

Moreno, A. T. (2017), Autonomous vehicles: Implications on an integrated

land-use and transport modelling suite, Paper presented at the 11th

AESOP young academics conference in Munich, April, pp.10-13.

Pinjari, A. R., Augustine, B., Menon, N.(2013), Highway capacity impacts of

autonomous vehicles: An assessment. University of South Florida,

Qu, Xiaobo(2017), Advances in Modelling Connected and Automated Vehicles,

hindawi.com.

SAE International(2018), Surface vehicles recommended practice, J3016,

Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

- Spieser, K., Treleaven, K., Zhang, R., Frazzoli, E., Morton, D., Pavone, M. (2014), Toward a systemic approach to the design and evaluation of automated mobility-on-demand systems: A case study in Singapore. In G. Meyer, S. Beiker (Eds.), Road vehicle automation. Lecture notes in mobility (pp.229-245). Cham: Springer.
- Stocker, A., Shaheen, S.(2017), Shared automated vehicles, A review of business models, International Transport Forum Discussion Paper 09.
- Thakur, P., Kinghorn, R., Grace, R.(2016), Urban form and function in the autonomous era, Australasian transport research forum proceedings.
- Tientrakool, P., Ho. Y.C., Nicholas F.M.,(2011), Highway capacity benefits from using vehicle-to vehicle communication and sensors for collision avoidance, Vehicle Technology coferece(VTC Fall), 2011 IEEE.
- Bichiou, Y Rakha, H.(2018), Developing an optimal intersection control system for cooperative automated vehicles, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- Wegener, M., Fürst, F.(1999), Land-use transport interaction: State of the art, Deliverable D2a of the project TRANSLAND (integration of transport and land use planning), Dortmund: University of Dortmund.
- Zhang, W.(2017), The interaction between land use and transportation in the era of shared autonomous vehicles: A simulation model (Dissertation), Georgia Institute of Technology.
- Zhang, W., Guhathakurta, S.(2017), Parking spaces in the age of shared autonomous vehicles, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2651, pp.80-91.
- Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J.(2015), Exploring the impact of shared

autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach, *Sustainable Cities and Society*, 19, pp.34-45.

Zhang, W., Guhathakurta, S., Khalil, E. B.(2018), The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, pp.156-165.

Zhao, Y., Kockelman, K. M.(2017), Anticipating the regional impacts of connected and automated vehicle travel in Austin, Texas. Paper presented at the TRB annual meeting.

[온라인 자료]

경기도교통정보센터 홈페이지 <https://gits.gg.go.kr/web/main/index.do>

국가교통 DB(KTDB), <https://www.ktdb.go.kr/www/index.do>

성남시 도시개발공사 홈페이지, <https://park.isdc.co.kr/main.do>

성남시 홈페이지, 성남통계, <https://www.seongnam.go.kr/stat/>

<https://blogs.nvidia.co.kr/2018/01/29/whats-difference-level-2-level-5-autonomy/>



&

L	A	N	D			
H	O	U	S	I	N	G
I	N	S	T	I	T	U
						E

10 11

부록 : 주차장 및 도로 감소에 따른 도시 공간의 변화 전망

본 부록에서는 주차장 및 도로 면적의 감소 효과가 도시 공간에 어떠한 영향을 미칠 것인지에 대해 확인하였다. 이를 위해 선행 연구를 검토하였고, 도시계획, 건축계획, 교통계획 전문가들의 의견을 FGI 기법을 통해 수렴하였다.

1. 도시 공간구조

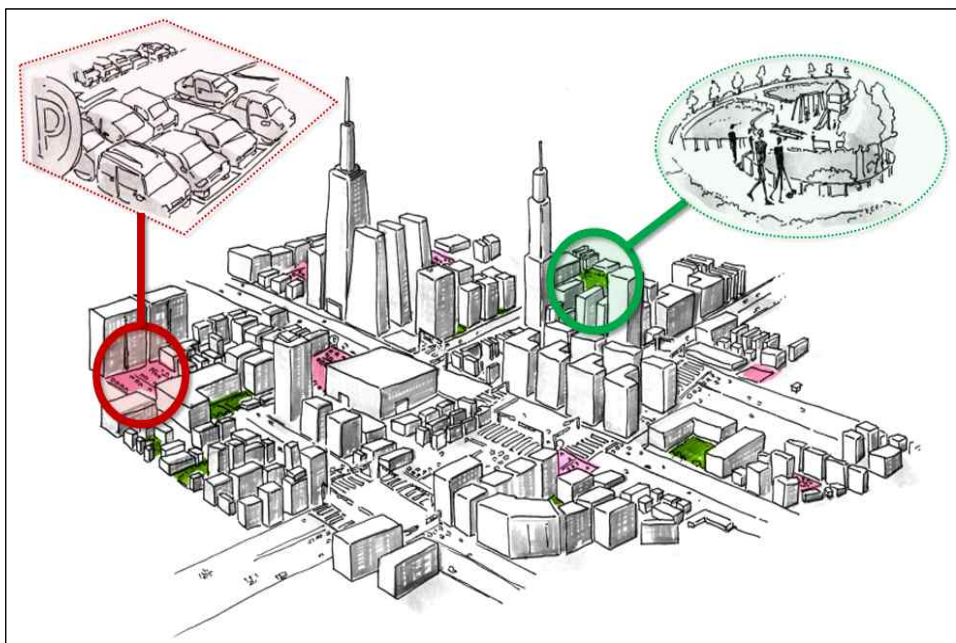
1) 도시 공간의 확대

□ 근거

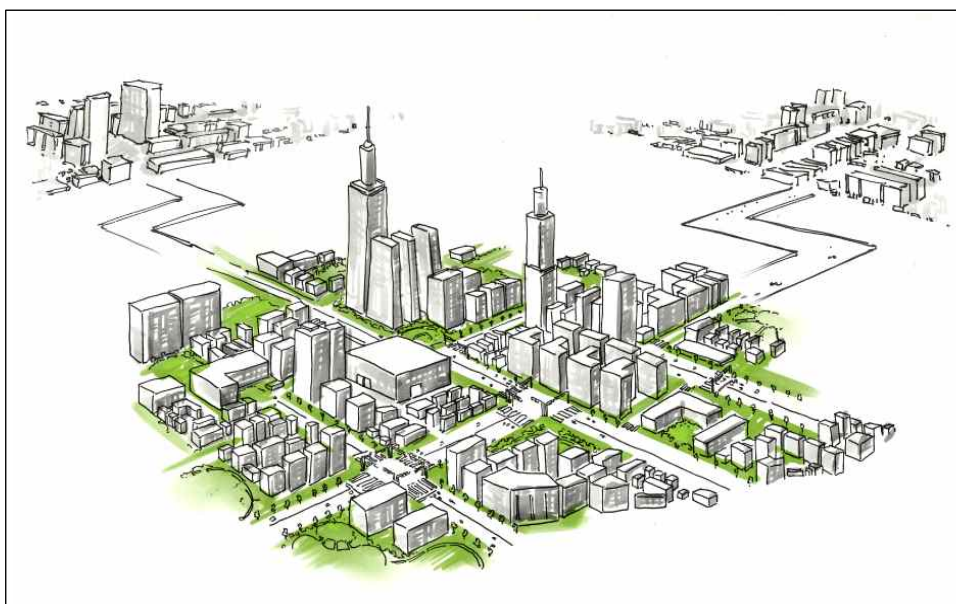
- 자율주행자동차는 교통정체를 줄이고, 차 내 활동이 자유로워지기 때문에 통행시간에 대한 저항이 낮아져, 사람들은 토지 가격과 임대료가 낮으며 자연환경이 좋은 도시 외곽으로 이주하는 것이 가능해짐
- 주차장과 도로의 감소로 녹지로 채워진 친환경 도시 계획이 가능

□ 변화의 모습

- 도시 외연은 기존 도시 경계의 확대 또는 주변의 위성도시 형태로 나타날 것임
- 또는 충분한 녹지공간을 확보한 친환경 도시 형태로 나타날 수도 있음



[부록 그림 1] 주차장과 도로 중심의 기존 도시 모습



[부록 그림 2] 도시 공간의 확대

2) 친환경 도시로 전환

□ 근거

- 주차장과 도로가 차지하는 면적이 감소하기 때문에 그 공간을 녹지 공간으로 전용 가능

□ 형태

- 도로변을 따라 녹지공간이 조성되고, 지상주차장은 공원 조성이 가능



[부록 그림 3] 녹지 공간 확대

3) 컴팩트한 도시 개발

□ 근거

- 주차장과 도로가 차지하는 면적이 감소하기 때문에 동일 계획 인구에 대해 이전의 신도시보다 더 많은 토지가 필요하지 않음
- 주차장 건설비를 전용(轉用)하면 더 높은 건물을 올릴 수 있음

□ 형태

- 이전 도시보다 밀도 있는 개발로 도시 면적은 감소할 것임



[부록 그림 4] 컴팩트한 도시 개발

4) 저층 구조의 도시 개발

□ 근거

- 주차장과 도로가 차지하는 면적이 감소하기 때문에 이전의 신도시보다 더 많은 토지 확보가 가능

□ 형태

- 저층 구조의 도시 개발이 가능



[부록 그림 5] 저층 구조의 도시 개발

2. 도로 교통

1) 불법주차 해소

□ 근거

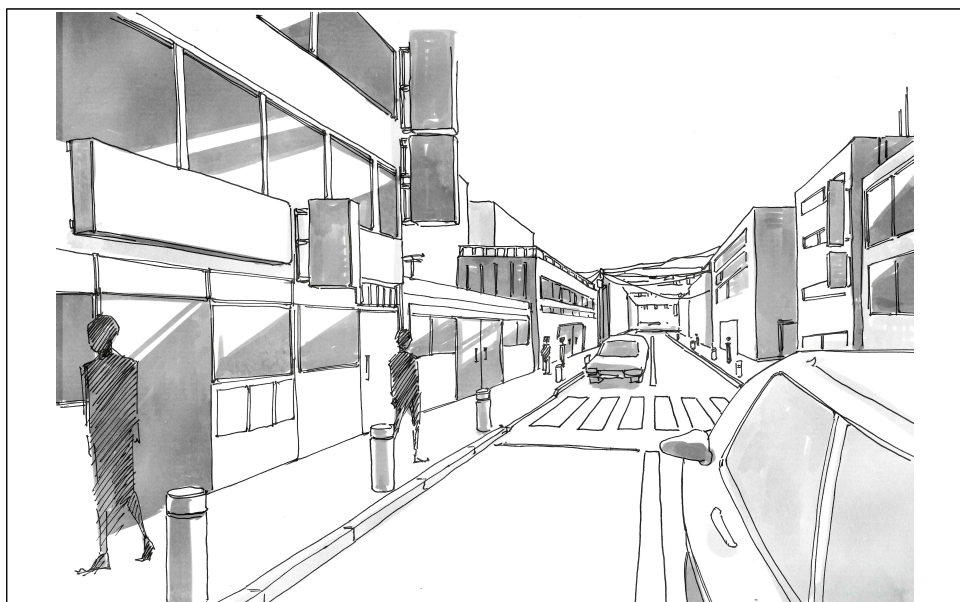
- 자율주행자동차를 이용하는 차주는 목적지에 도착하여 주차장을 찾기 위해 배회할 필요가 없음
- 자율주행자동차 스스로 근처의 빈 주차장을 찾아 주차할 것이고, 또는 집으로 돌려보내면 됨

□ 형태

- 도로의 불법주차는 사라지고, 보도와 차도는 제 기능을 수행하여 쾌적한 가로 환경을 만들어 낼 것임



[부록 그림 6] 도시 가로의 불법주차



[부록 그림 7] 불법주차가 사라진 도시 가로

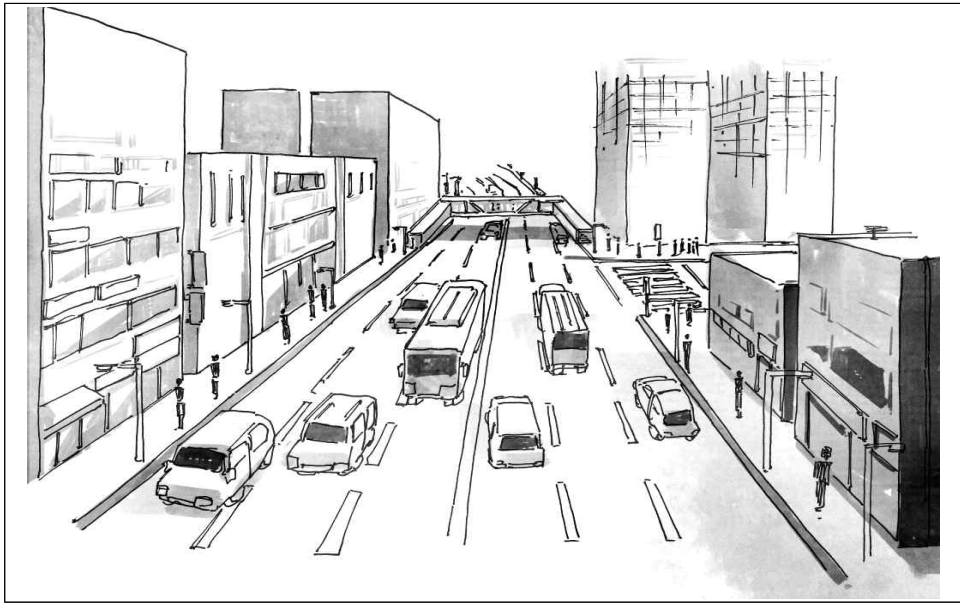
2) 도로의 변화

□ 근거

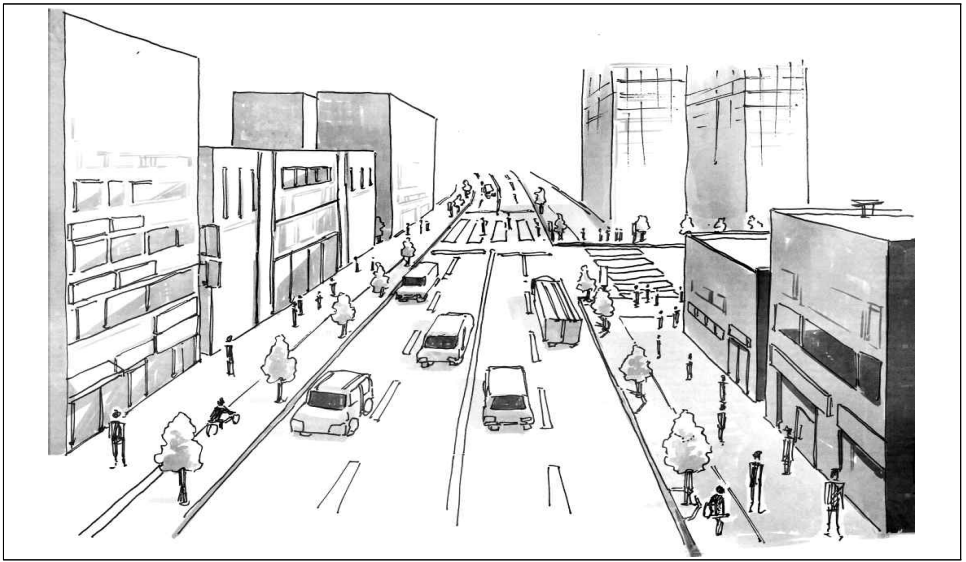
- 자율주행자동차는 교차로 처리 용량을 높여 도시 내 도로 용량을 높일 것임. 다시 말하면 지금보다 차로수가 줄어들 것임

□ 형태

- 6차로 이상의 도로에서 차로 감소가 나타날 것임
- 불필요한 차로는 보도, 자전거, PM을 위한 도로로 활용되거나, 도로를 따라 녹지대로 활용될 것임



[부록 그림 8] 다차로 도로



[부록 그림 9] 도로 감소에 따른 가로 환경 개선

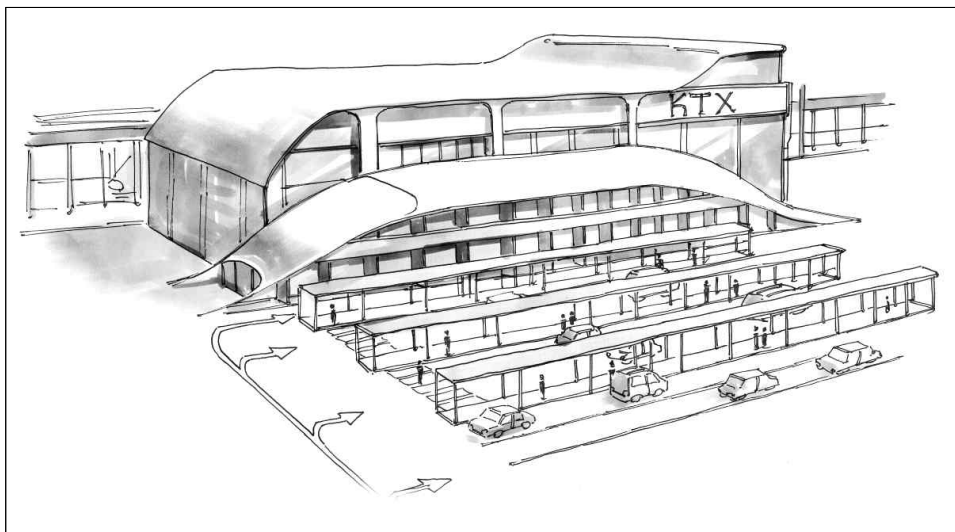
3) 환승 터미널

□ 근거

- 장거리 열차나 고속버스는 일반 교통수단에서 환승을 하는 경우 시간적, 심리적 저항이 일어남. 이를 환승저항이라 함
- 자율주행자동차는 택시처럼 바로 터미널 입구에 내려줄 수 있어 환승 저항을 줄일 수 있음

□ 형태

- 환승저항이 줄면서 여행자들은 대중교통 이용 편리성이 향상되고, 환승에 소요되는 시간을 줄여줄 것임



[부록 그림 10] 환승 터미널의 변화

3. 건축물

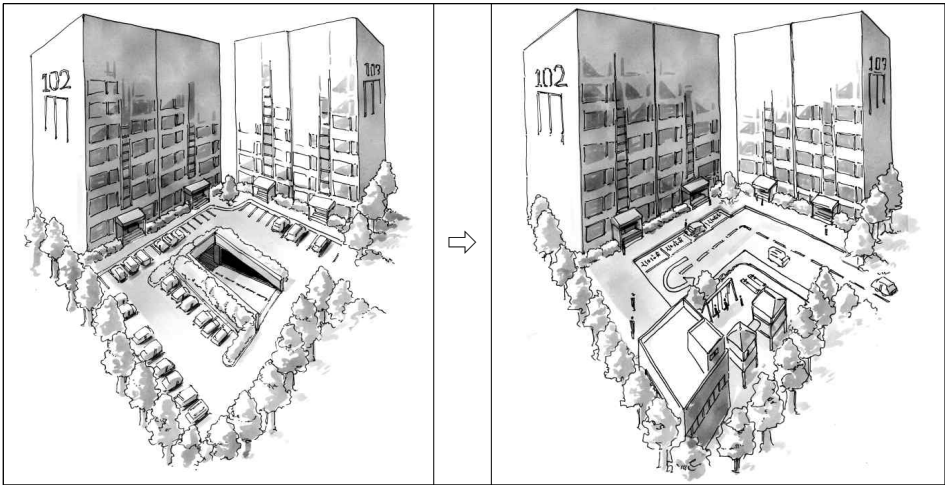
1) 공동주택

□ 근거

- 공동주택, 다시 말해 아파트는 승하차 공간과 장애인을 위해 필요한 최소한의 주차 공간을 제외하고는 사라질 것임

□ 형태

- 사라진 주차공간에는 커뮤니티 시설을 세울 수 있고, 상가나 놀이터 등을 더 늘릴 수도 있을 것임



[부록 그림 11] 공동주택의 변화

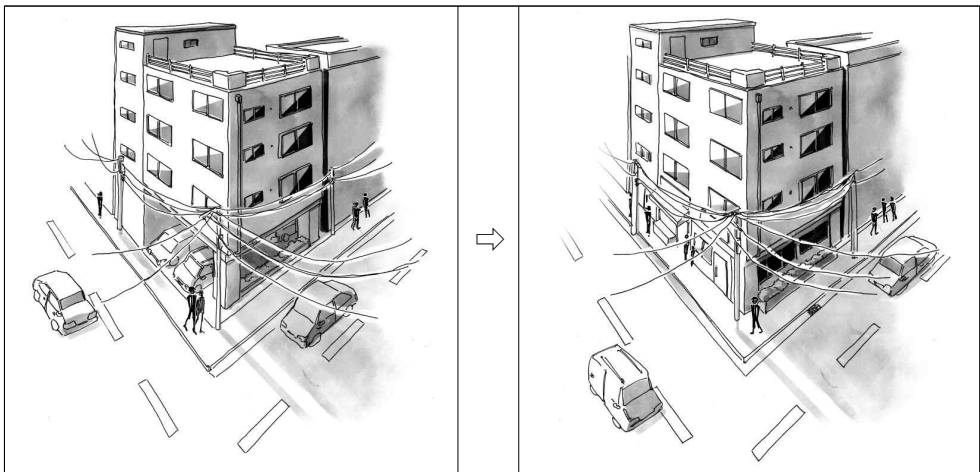
2) 다세대 주택

□ 근거

- 다세대 주택 내 주차장 역시 불필요해질 것임

□ 형태

- 주차장으로 사용되던 1층의 필로티 공간은 주거 시설이나 상가 등 다른 용도로 채워질 것임
- 주변 가로 활동이 증가하고, 커뮤니티가 활성화될 것임



[부록 그림 12] 다세대 주택의 변화

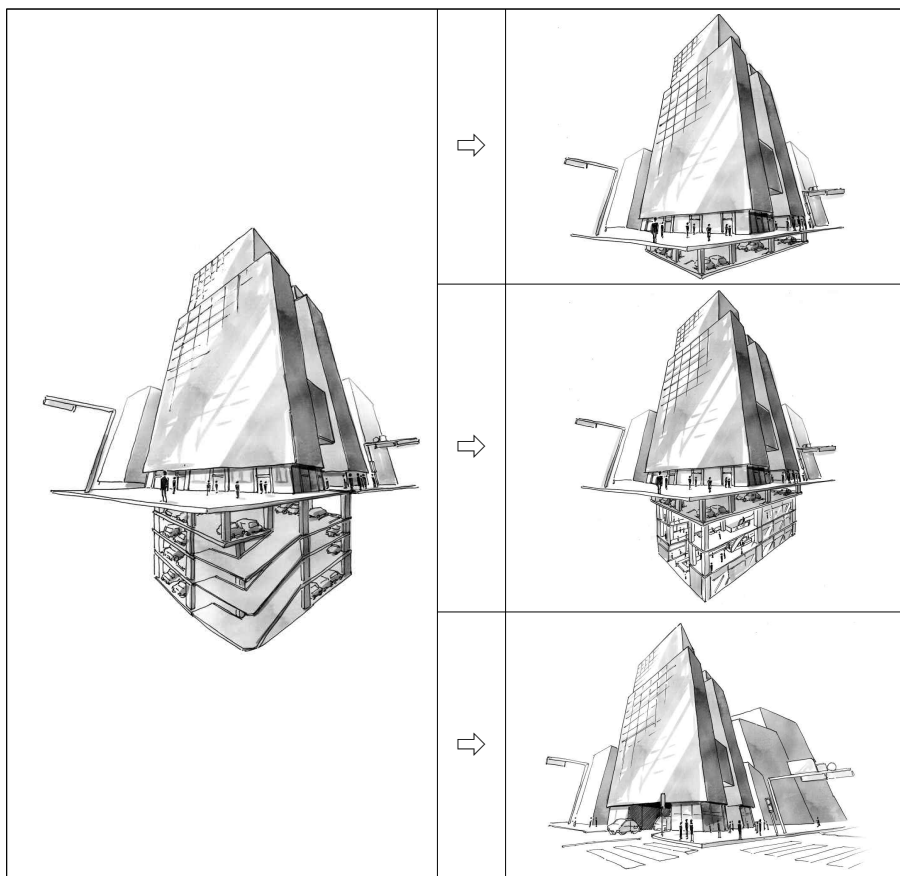
3) 상업·업무 빌딩

□ 근거

- 상업·업무 빌딩 내 지하주차장은 불필요해질 것임

□ 형태

- 기존 건물은 지하주차장이 쇼핑몰과 같이 새로운 용도로 대체될 수 있을 것임
- 새로운 건물은 자율주행자동차의 승하차를 위해 건물을 관통하는 구조나 빌딩 밖으로 승하차 공간을 설치해놓는 구조로 설계될 것임



[부록 그림 13] 상업·업무용 빌딩의 변화

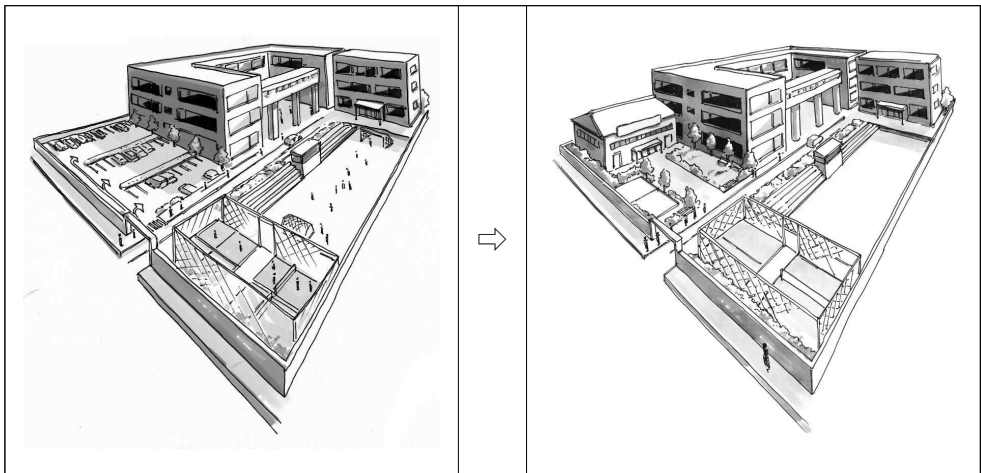
4) 학교

□ 근거

- 학교는 대개 지상 주차장이 크고 넓게 자리 잡고 있음. 그러나 그 공간 역시 불필요한 공간으로 사라질 것임

□ 형태

- 학교 캠퍼스는 더 많은 녹지 공간을 확보하거나 새로운 교육 시설을 추가할 수 있게 될 것임



[부록 그림 14] 학교의 변화

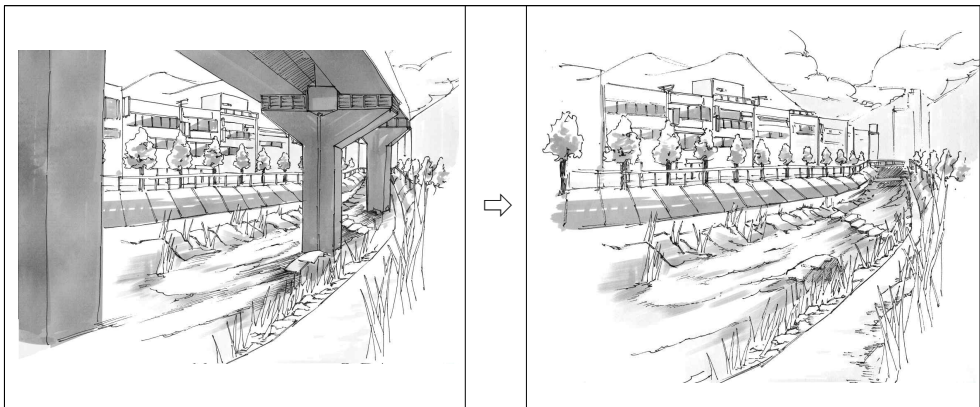
4. 도시 경관의 변화

□ 근거

- 자동차 수요에 대응하기 위해 도시는 고가도로 등 경관을 해치는 구조물을 불가피하게 건설되어 옴
- 자율주행자동차는 도시 통행 수요를 충분히 처리할 수 있을 만큼 도로 용량을 증가시키므로 도시 내 고가도로를 건설할 이유가 사라질 것임

□ 형태

- 기존 고가도로는 철거되거나 서울역의 ‘서울로 7017’처럼 녹지 공간으로 재탄생할 수 있을 것임
- 탁 트인 가로가 형성되어 도시 경관에도 큰 변화가 있을 것임



[부록 그림 15] 도시 경관의 변화