



자율주행 시대
서울의 도시환경 변화와 대응방향

한영준 윤서연 정상미



자율주행 시대
서울의 도시환경 변화와 대응방향



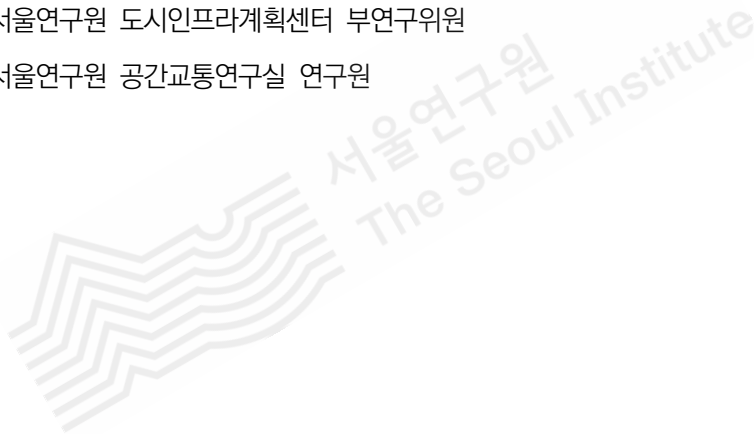
연구책임

한영준 서울연구원 공간교통연구실 연구위원

연구진

윤서연 서울연구원 도시인프라계획센터 부연구위원

정상미 서울연구원 공간교통연구실 연구원



이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

자율주행 시대 대비 서울 도시변화 예측하고 도시교통·공간의 체계적인 대응방향 마련해야

자율주행이 가져올 변화, 교통에 국한되지 않고 도시환경 전반에 미칠 것

서울시는 2021년 11월 「서울 자율주행 비전 2030」을 발표하며 자율주행 도시 서울의 미래상으로 ‘모든 시민이 차별 없이 이동의 자유를 보장받는 도시’, ‘보행 중심으로 공간이 재창출되는 도시’ 등을 제시하였다. 자율주행은 교통사고와 도로 혼잡을 감소시켜 도시교통을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 기대를 받고 있을 뿐만 아니라, 교통수단 선택의 기준, 이동에 대한 시민의 가치관, 토지이용 및 건축계획 등 전반적인 도시환경을 변화시킬 것으로 전망된다. 이 연구에서는 자율주행이 가져올 미래 서울의 변화를 도시환경 관점에서 종합적으로 전망하고 자율주행 시대를 준비하는 서울의 대응방향을 제시하였다.

자율주행 시대에는 도로·주차장 등 교통인프라 용량이 크게 증가할 전망

자율주행 시대의 도시 변화를 전망하는 기존 연구에서는 도로나 주차장과 같은 교통인프라의 용량이 크게 증가하여 현재 자동차를 위해 사용되는 공간이 다른 용도로 전환될 것으로 예상하고 있다. 미시적 시뮬레이션으로 자율주행이 도로용량에 미치는 영향을 추정한 연구 결과에서는 고속도로 등 연속류 도로의 용량이 2배 가까이 증가하고 신호교차로의 영향을 받는 도심의 단속류 도로용량도 약 30% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 자율주행으로 증가하는 도로용량을 실제 도시에 적용한 연구에서는 기존 도로 공간의 10~20%를 다른 용도로 전환할 수 있을 것으로 제시하고 있다. 한편, 자율주행으로 무인주차가 실현되면 주차장 내 사람을 위한 공간이 감소하여 밀집주차가 가능해지고, 이에 따라 주차장 용량도 크게 증가할 것으로 예상되고 있다. 특히 도시의 교통체계가 주차수요를 유발하지 않는 ‘공유교통’으로 전환되면, 기존 주

차공간의 90% 이상이 다른 용도로 전환될 수 있을 것이라는 전망도 제기되고 있다.

자율주행 도입 시 승용차 이용 증가 가능성 높아...통행행태 변화에 대비해야

하지만 자율주행 시대의 변화를 올바르게 전망하기 위해서는 교통인프라의 변화뿐 아니라 이를 이용하는 시민들의 통행행태 변화도 고려해야 한다. 우선, 자율주행이 도입되면 승용차를 이용하는 수요가 증가할 것으로 전망된다. 자율주행 기술을 통해 승용차의 안전성과 쾌적성이 향상되면, 자율주행 승용차를 선택할 확률이 증가하기 때문이다. 또한, 자율주행으로 이동 시간에 운전 대신 휴식을 취하거나 업무를 보는 것이 가능해지면 서울로 진출입하는 광역교통의 양과 이동 범위도 늘어날 것으로 예상된다. 수도권 시민을 대상으로 한 설문조사 결과에서도 현재 대중교통 이용자의 절반 정도가 대중교통보다 자율주행 자동차 이용을 더 선호하는 것으로 분석되었다. 또한 자율주행 기술은 운전면허의 유무, 연령 등 승용차 이용에 대한 제약과 부담감을 낮춰 현재에는 발생하지 않는 새로운 추가 통행을 발생시킬 수 있다. 자율주행이 발생시키는 추가 통행은 국외의 사례실험을 통해 제기되었으며, 이 연구에서 수행한 수도권 시민 대상 설문조사에서도 확인되었다. 이처럼 자율주행 시대에는 도로의 통행수요가 현재보다 크게 증가할 수 있기 때문에 이에 대한 대응방안 마련이 필요하다.

자율주행으로 대도시 서울의 도로공간이 획기적으로 전환되기는 어려워

자율주행으로 인한 도로용량과 이용수요 변화를 종합적으로 고려하여 자율주행 시대 서울의 도로공간 전환 가능성을 분석하였다. 현재와 같은 교통수요와 서비스 수준 유지를 가정하는 경우, 편도 3차로 이상의 연속류 도로에서 한 개 차로 축소가 가능할 것으로 분석되었는데, 이는 올림픽대로, 강변북로 등 서울도시고속도로 전체 구간의 78.2%에 해당한다. 하지만, 자율주행 전용도로(차로)의 단계적 도입, 활용이 어려운 부지 형태, 주변 토지이용 현황 등을 고려하였을 때 도시고속도로의 실질적인 공간 전환 효과는 크지 않을 것으로 예상할 수 있다. 한편, 도심의 단속류 도로는 교통수요의 변화가 없는 경우 편도 5차로 이상 도로에서 공간 전환을 고려할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 편도 5차로 이상 도로는 서울 전체 도심 도로 연장의 1% 미만에

불과하여 실질적인 전환효과는 미미할 것으로 예상할 수 있다. 또한, 향후 자율주행으로 인한 승용차 이용 증가, 현재 서울 도로의 낮은 서비스 수준 등을 고려하면, 자율주행으로 인해 대도시 서울의 도로공간이 획기적으로 전환되기는 어려울 것으로 전망할 수 있다.

자율주행이 가져올 교통 이용행태 변화에 맞는 도로 운영방안 구상 필요

자율주행으로 변화될 교통 이용행태에 적합한 도로공간의 새로운 운영방안을 마련해야 한다. 자율주행 자동차 이용자는 주차장까지 이동하지 않고 목적지 주변에서 승하차할 것으로 예상되므로 가로변 차로에 자율주행 자동차의 주정차를 위한 공간을 마련해야 한다. 최근 'Flex Zone'이라는 이름으로 제안되고 있는 이 공간은, 자율주행 자동차뿐만 아니라 대중교통, 자전거 및 PM 등 다양한 수단이 공유할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 도로의 시간대별 주요 활동을 정의하여 가변적으로 우선순위를 배정한다면, 도로의 운영효율은 더욱 증가할 것이다. 한편, 자율주행 시대의 대중교통은 수요응답형 공유교통으로 전환될 것이 예상되기 때문에, 대중교통 시설도 도로 위계와 기능에 따라 변화해야 한다. 통행량이 많은 간선 도로에서는 스마트 셸터와 같은 고정식 시설의 설치가 가능하지만, 수요가 불규칙적으로 발생하는 지선 도로에서는 대중교통 정류장이 특정한 지점에 제한받지 않고 수요에 따라 유연하게 대응할 수 있는 공간 확보가 필요할 것이다. 또한 센서기반으로 운영되는 자율주행 자동차의 특성을 고려하여 향후에는 도로의 불확실성을 유발할 수 있는 조경 등의 요소들도 입체적 공간범위 안에서 관리할 필요성이 있다.

자율주행 시대에는 주차공간도 변화...기능전환·매각 등 다양한 활용 가능

자율주행으로 주차 용량이 증가하고 대중교통(공유교통) 활성화로 주차수요 감소가 실현될 경우에는 일부 주차공간의 용도 및 기능 전환이 가능할 것으로 예상된다. 특히, 주차 용량 증대는 부설주차장이 집중되어 있는 3도심 지역에서 크게 나타날 것으로 분석되어, 향후 도심 주차공간의 변화가 크게 일어날 것으로 예상할 수 있다. 이 연구에서는 도심의 주차수요를 용량이 증가한 부설주차장에 집중시키고, 기존의 노

상·노외 주차장을 자율주행 자동차의 승하차 공간 등 다른 기능으로 전환하거나, 매각 후 재원 확보에 활용하는 방안 등을 제안하였다. 한편, 민간 소유가 대부분인 부설 주차장의 개방과 공유를 유도하기 위해서는 잉여 주차공간의 용도전환 등 인센티브 제공을 구상할 필요가 있다. 주차 공간이 부족한 주거지에서는 지속적인 주차공간 확보가 필요하다. 이때에는 도심 주차장의 용도 전환으로 발생한 재원을 활용할 수 있으며, 자율주행으로 인한 용량증대 효과를 극대화하기 위해 대규모 공동주차장을 확보하는 것이 유리할 것으로 예상된다. 한편, 자율주행 기반의 공유차량은 수요가 적은 야간 시간의 주차를 위해 기존의 ‘차고지’와 같은 공간 확보가 필요한데, 이용수요가 낮은 야간의 도심 부설주차장을 활용하면 공간적 효율성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

자율주행 혜택 시민 모두가 함께 누릴 수 있도록 도시교통체계 개편해야

승용차 이용 증가 등 자율주행 도입 시 예상되는 문제점에 대한 적절한 대응방안을 마련하지 못한다면, 서울의 교통은 더욱 극심한 혼잡을 겪을 것으로 예상된다. 따라서, 자율주행으로 인한 혜택을 시민 모두가 함께 누릴 수 있도록 도시교통체계를 개편해야 하며, 이에 적합한 목표설정과 실행이 필요하다. 서울 시민을 대상으로 자율주행 시대의 서울 도시교통개편 방향을 조사한 결과, ‘사회적 비용 최적화를 위해 자율주행 기술을 이용한 대중교통 기능 고도화’가 40.6%로 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 자율주행의 장점이 개인 승용차가 아닌 공공 대중교통에 더욱 집중되어야 함을 의미한다. 즉, 자율주행 기술을 반영하여 대중교통 차량을 소형화 및 다변화시키고, 수용 대응형 체계를 도입하여 서비스 수준을 향상시켜야 한다. 특히, 향후 자율주행 기술로 인한 인건비 감소 등을 고려할 때 큰 폭의 요금인하, 또는 무료 대중교통체계의 도입도 고려할 수 있을 것이다.

자율주행 시대 진정한 스마트도시 구현 위해 교통·도시 통합 논의 ‘필수’

대도시 서울에서는 자율주행 시대에 예상되는 문제점을 물리적 인프라 관점으로만 해결하는 것이 불가능하기 때문에 자율주행 자동차의 특성을 반영하는 새로운 교통운영

방안의 도입이 필요하다. 자율주행 자동차의 잦은 주정차를 방지하기 위해서는, 도로상의 '주정차 금지' 구역을 설정하고 이를 법·제도를 통해 자율주행 운행 알고리즘에 반영하여 이용자가 임의로 주정차 금지구역을 위반하지 않도록 한다. 자율주행의 장점이라고도 할 수 있는 공차(empty vehicle) 주행과 중앙 집중식 개별차량 관제(control)에 대해서도 개인과 사회 최적화 관점에서 합리적인 논의를 시작해야 한다. 무엇보다 자율주행의 영향을 도시계획 및 건축의 영역까지 확장하여야 한다. 이 연구에서는 자율주행으로 인한 변화와 이를 수용하기 위한 도시공간의 변화 방향을 지역 단위, 블록 및 지구 단위, 개별 건축물 단위로 구분하여 제시하였다. 향후 교통, 도시, 건축 등 다양한 분야의 기능을 포괄하는 통합조직을 구성하여 미래 자율주행 도시 서울의 바람직한 발전 방향을 설정하고, 자율주행의 부작용을 최소화하고 혜택을 극대화하기 위한 선제적 대응방안을 수행한다면, 자율주행을 통해 현재의 도시문제를 해결하는 진정한 스마트도시 서울을 실현할 수 있을 것으로 기대된다.



목차

01 연구개요	2
1_연구의 배경 및 목적	2
2_연구의 범위 및 내용	3
02 자율주행으로 인한 도시교통 인프라 변화 전망	8
1_자율주행 시대의 도로	8
2_무인 주차 시대의 주차장	17
3_자율주행 전기차 시대의 주유소	24
4_자율주행 시대의 도시교통 인프라 변화 시사점	28
03 자율주행 시대, 서울의 통행행태 변화 전망	30
1_서울의 승용차 이용 변화	30
2_자율주행과 서울의 광역교통 변화	35
3_자율주행으로 인한 도시의 교통체계 변화	42
04 자율주행 시대를 준비하는 서울의 대응방향	46
1_[대응방향 1] 서울의 도로공간 변화	48
2_[대응방향 2] 서울의 주차공간 변화	58
3_[대응방향 3] 자율주행의 혜택을 함께 누리는 서울의 도시교통 개편	64
4_[대응방향 4] 자율주행 시대의 도시교통 운영방안 마련	69
5_[대응방향 5] 도시교통-도시공간 통합관리체계 구축	72
05 결론 및 정책제언	80
참고문헌	83
Abstract	86

표 목차

[표 2-1] 자율주행 자동차 도입으로 인한 연속류 도로의 용량 증대 효과	9
[표 2-2] 차두시간, 자율주행차 혼입률 변화에 따른 연속류 도로용량 변화	9
[표 2-3] 자율주행차량 도입으로 인한 단속류 도로용량 증대 효과	10
[표 2-4] 차두시간, 자율주행차 혼입률 변화에 따른 단속류 도로용량 변화	11
[표 2-5] 자율주행차량 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서의 도로 감소비율	12
[표 2-6] 자율주행차량 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서의 도로 감소비율	13
[표 2-7] 시도별 교통혼잡비용 추정결과 및 1km당 교통혼잡비용	15
[표 2-8] 2021년 시간대별 요일별 서울시 통행속도(평일)	16
[표 2-9] 서비스 수준 F의 구분	16
[표 2-10] 서울시 유형별 주차장(2021년 기준)	18
[표 2-11] 서울시 운영·관리 주체별 주차장(2021년 기준)	19
[표 2-12] 주차장 기능변화에 따른 공간 감소 효과 관련 연구	20
[표 2-13] 공유교통에 따른 주차장 공간 감소 관련 기존 연구	22
[표 2-14] 자율주행으로 인한 통행행태 변화 설문조사 개요	23
[표 2-15] 자율주행차량으로 출근 시 선호하는 주차장소	24
[표 2-16] 서울시 석유판매소 개수 추이	25
[표 2-17] 전기차 기반 자율주행 자동차의 선호하는 충전장소	27
[표 2-18] 장소별 충전 선호형태	27
[표 3-1] 출근 시 자율주행 자동차로의 전환 여부(서울 내부통행자)	32
[표 3-2] 기존 교통수단 이용을 그대로 유지하려는 이유(서울 내부통행자)	33
[표 3-3] 자율주행 자동차 이용 시 추가 통행 의향(서울 내부통행자)	35
[표 3-4] 자율주행차 이용 시 추가 통행 빈도(서울 내부통행자)	35
[표 3-5] 수도권 수단별 평균 통행시간가치(2019년 기준)	36

[표 3-6] 소득수준에 따른 교통수단별 통행시간가치 추정치 비교	37
[표 3-7] 서울로 도착하는 출근통행 분포(2020년)	39
[표 3-8] 한양도성 진·출입 통행 차량 등록지	39
[표 3-9] 출근 시 자율주행 자동차로의 전환 여부(경기·인천 → 서울 광역통행자)	41
[표 4-1] 서울시 연속류 도로 차로수별 비율(편도 기준)	50
[표 4-2] 서울시 단속류 도로 차로수별 비율(편도 기준)	52
[표 4-3] 서울시 행정동별 주차면수(2021년 기준)	59
[표 4-4] 서울시 주차면 보유 상·하위 행정동(2021년 기준)	60
[표 4-5] 자율주행 시대 서울시 도시교통 개편 방향(수도권→서울시 통행자)	64
[표 4-6] 차량별 일대당 표준원가 산정표(2021년 기준, 자율운영)	67
[표 4-7] 전 교통수단의 자율화 및 요금인하 정책 적용시 수단 선택(설문조사 결과)	68
[표 4-8] 자율주행차 전환과 주차이동으로 발생하는 추가 VKT	70
[표 4-9] 세종 스마트시티 모빌리티 추진전략 및 시행계획	78



그림 목차

[그림 1-1] 자율주행 기술레벨 정의	4
[그림 1-2] 연구 구성	5
[그림 2-1] 자율주행자동차 혼입 비율 100% 차로 감소 결과	12
[그림 2-2] 서울시 전체 통행속도 추이	16
[그림 2-3] 서울시 자치구별 주차장 확보율(2021년 기준)	18
[그림 2-4] 자율주행차량으로 출근 시 선호하는 주차장소	24
[그림 2-5] 서울시 석유판매소 개수 추이	25
[그림 2-6] 주유소 및 전기차 충전시설을 갖춘 '종합에너지스테이션(ETS)'(서울시 금천구)	26
[그림 2-7] 자율주행차가 전기차일 경우 선호하는 충전장소	27
[그림 3-1] 교통수단 선택에 영향을 미치는 요소와 수단분담률	31
[그림 3-2] 출근 시 자율주행 승용차로의 전환 여부(서울 내부통행자 700명 기준)	32
[그림 3-3] 기존 교통수단 이용을 그대로 유지하려는 이유(서울 내부통행자)	33
[그림 3-4] 운전자 서비스 제공 시 이동횟수 변화	34
[그림 3-5] 자율주행 도입 시 거주지역 및 차량 소유 변화(장기간)	38
[그림 3-6] 한양도성 진·출입 통행 차량 등록지	40
[그림 3-7] 출근 시 자율주행 승용차로의 전환 여부(경기·인천 → 서울 광역통행자)	41
[그림 3-8] 출근 시 자율주행 승용차를 이용하려는 이유(경기·인천 → 서울 광역통행자)	41
[그림 3-9] 미래 도로 교통수단 변화 형태	42
[그림 3-10] 미래 도시교통체계의 변화 시나리오	43
[그림 4-1] 자율주행 시대 도시 위한 기본 원칙	47
[그림 4-2] 자율주행 시대 서울시를 위한 대응방향	47
[그림 4-3] 현재와 동일한 도로 서비스 수준 유지가능한 차로수 산출	49
[그림 4-4] 연속류 편도 차로수별 네트워크	50

[그림 4-5] 미국 자율주행 전용차로 CAVNUE 프로젝트	51
[그림 4-6] 단속류 편도 차로수별 네트워크	53
[그림 4-7] 자율주행 변화에 따른 도시공간 재활용 사례(예:Flex Zone)	55
[그림 4-8] 시간대별 도로변 가변 운영방안 예시	56
[그림 4-9] 위계에 따른 정류장 활용 변화	57
[그림 4-10] 시설물 인지 방해 요소를 제거한 가로수	58
[그림 4-11] 서울시 행정동별 주차면수 분포(2021년)	59
[그림 4-12] 일반·공동주택 제외시 서울시 주차면수 분포(2021년)	61
[그림 4-13] 일반·공동주택 제외 및 시가화 면적 고려한 서울시 주차밀도(2021년)	61
[그림 4-14] 자율주행 시대 서울시 도시교통 개편 방향(수도권→서울시 통행자)	64
[그림 4-15] 수요대응형 서비스 예시(현대자동차 DRT 서비스 셔클)	66
[그림 4-16] 전 교통수단의 자율화 및 요금인하 정책 적용시 수단 선택(수도권→서울시 통행자)	68
[그림 4-17] 서울 TOPIS 확대 발전 방향	72
[그림 4-18] 한양도성(녹색교통진흥지역) 통행 제한	73
[그림 4-19] 스페인 슈퍼블록	74
[그림 4-20] 아파트 단지의 회차 동선	75
[그림 4-21] 연세대학교 지하 승·하차 공간	76
[그림 4-22] 세종 스마트시티의 새로운 토지이용 제안	77

01

연구개요



- 1_연구의 배경 및 목적
- 2_연구의 범위 및 내용

01. 연구개요

1_연구의 배경 및 목적

미래 기술로만 여겨지던 자율주행이 어느덧 실현 가능한 현실로 다가오고 있다. 전 세계의 우수한 기업과 도시가 앞다투어 자율주행 상용화를 위해 노력하고 있으며, 서울시에서도 2021년 11월 자율주행 도시 서울의 미래상을 제시하는 「서울 자율주행 비전 2030」을 발표하였다. 서울시는 시민이 일상생활에서 체감할 수 있는 다양한 자율주행 서비스를 단계적으로 도입하여 2026년 세계 자율주행 TOP 5 도시를 달성한다는 목표를 가지고 있다. 특히, (i) 자율주행차 거점 확대 및 이동 서비스 상용화, (ii) 청계천 자율버스 운행, (iii) 대중교통수단으로 자율주행버스 정착, (iv) 공공서비스 분야에 자율주행차 기반 도시관리 도입, (v) 시 전역 자율주행 인프라 구축 등 5대 과제를 선정하여, 자율주행 기술을 통해 모든 시민이 이동의 자유를 차별 없이 보장받고 서울의 도시공간이 보행 중심으로 재창출되는 것을 기대하고 있다.

이처럼 자율주행은 도시교통뿐만 아니라 도시구조와 토지이용 등 전반적인 도시 환경을 변화시킬 것으로 예상된다. 최근 4차 산업혁명과 함께 개인형 교통수단(Personal Mobility, PM), 도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM) 등 다양한 스마트 교통 체계가 도입되고 있지만, 이 중에서도 자율주행은 자동차의 주행 특성과 이용 행태를 근본적으로 바꿀 수 있다는 차별성을 가지고 있다. 자율주행 기술을 통해 교통사고와 도시교통 혼잡을 감소시킬 수 있을 뿐 아니라, 교통수단을 선택하는 기준, 자동차를 이용하는 행태, 자동차 소유 방식 등 도시교통 전반에 대한 시민 가치관에 영향을 미칠 수 있는 것이다. 또한, 도로 주차장 등 교통인프라와 토지이용, 건축계획 등 도시의 형태와 구조에도 변화를 가져올 수 있다.

최근 다양한 분야에서 자율주행이 미치는 영향에 주목하며 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 대부분의 연구들이 교통사고와 도로공간 감소, 완전 자율주행으로 인한

운전의 해방 등 자율주행이 제공하는 ‘혜택’에만 주목하고 있을 뿐, 자율주행으로 인한 도시환경의 ‘변화’와 ‘대응방향’에 대한 연구는 미흡한 상황이다. 따라서 이 연구에서는 자율주행으로 인한 서울의 도시교통인프라와 통행행태의 변화를 종합적으로 분석하고, 자율주행 도입 시 예상되는 문제점을 완화하고 자율주행으로 인한 혜택을 극대화하기 위한 미래 서울의 대응방향을 제안하고자 한다. 대응방향 수립 시에는 물리적인 도시인프라뿐만 아니라, 도시교통 운영과 도시계획 및 건축 등 다양한 분야를 연계하여 종합적인 대응방향을 제시하고자 하였다.

2_연구의 범위 및 내용

이 연구에서는 자율주행 기술이 일정 수준 이상으로 고도화된 경우를 연구의 범위로 설정하였다. 자율주행 기술은 미국자동차공학회(SAE) 기준을 준용하여 6단계(0~5레벨)로 그 수준을 구분할 수 있는데, 일반적으로 레벨 2 기술까지는 ‘운전자 보조기능’으로 간주하며 레벨 3 기술부터 ‘자율주행 기능’으로 분류하고 있다. 하지만 자율주행 레벨 3 기술은 비상 상황 시 운전자 개입이 필요하기 때문에, 개인 승용차와 대중교통 모두 현재와 같이 운전자가 있어야 한다. 따라서 자율주행으로 인한 변화의 영향이 제한적일 수밖에 없다. 비상 상황에서도 운전자의 개입 없이 자동차 스스로 대응할 수 있는 경우에는 레벨 4 기술로 분류되며, 자율주행 자동차가 운영설계영역(Operation Design Domain, ODD)의 영향을 받지 않고 모든 환경에서 주행이 가능한 경우를 레벨 5 기술, 즉 완전자율주행으로 구분하게 된다. 국내외 많은 국가와 기업이 지속적인 투자를 통해 자율주행 기술의 고도화를 위해 노력하고 있지만, 고도화된 레벨 4 자율주행기술이나 레벨 5 완전자율주행 기술의 완성은 아직 요원한 상황이다. 하지만 현재의 기술 수준을 고려하여 자율주행 수준을 너무 낮게 전제하면 자율주행으로 인한 도시환경 변화는 상당히 제한적일 수 밖에 없으므로 이 연구의 목적인 중장기적 관점의 도시 변화 전망 및 대응방향 수립에 적합하지 않다. 따라서 이 연구에서는 자율주행 기술의 영향이 도시교통과 공간적 변화 전반에 유의미하게 영향을 미치는 경우를 묘사하기 위해, 자율주행 기술이 ‘레벨 4’ 이상으로 고도화되고 자율주행 자동차의 점유율도 상당 부분 높게 달성된 경우를 연구의 범위로 설정하였다.

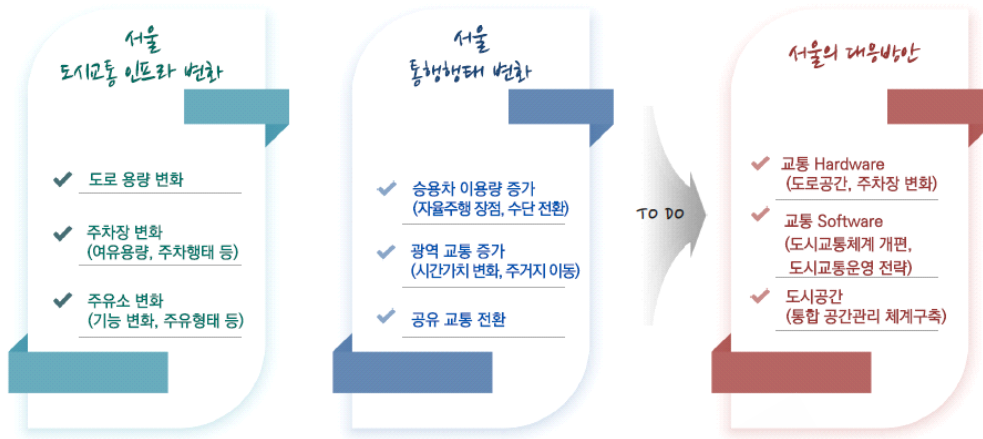
	Human					System
	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
정의	비자동화 No Automation	운전자 지원 Driver Assistance	부분 자동화 Partial Automation	조건부 자동화 Conditional Automation	고도 자동화 High Automation	완전 자동화 Full Automation
내용	운전자가 모든 운전 (경고장치부품)	운전자가 운전 (조향 혹은 감·가속 등 하나 지원)	운전자가 운전 (조향 혹은 감·가속 등 다 지원)	운전자가 운전 단, 제한된 조건에서 자율주행 (운전자가 언제든 Take Over 대기)	특정구간에서는 완전자율 주행	자동차가 모든 운전
주행 중 비상상황 대처	Human	Human	Human	Human	System	System
주행환경 모니터링	Human	Human	Human	System	System	System
책임주체	Human	Human	Human	Human or System 책임 분담	System	System
제어주체	Human	Human and System	System	System	System	System

자료: 국토교통과학기술진흥원, KAIA Insight VOL.10., 2018, 자율주행자동차 국제기준 제정을 위한 안전기준 동향.

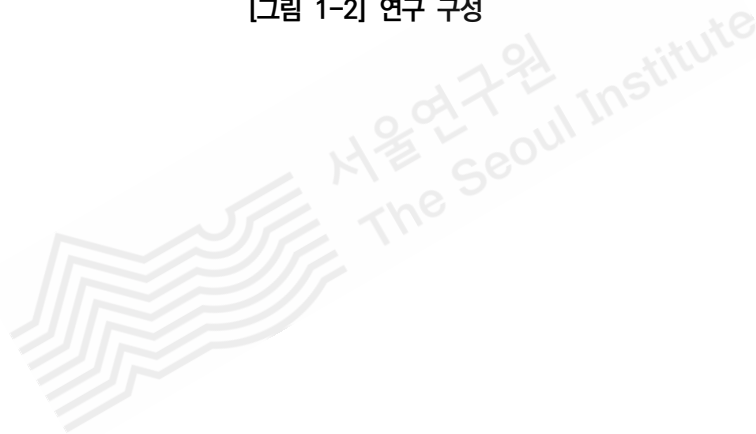
[그림 1-1] 자율주행 기술레벨 정의

연구의 구성과 내용은 [그림 1-2]에 제시된 바와 같다. 2장에서는 자율주행으로 인한 서울의 변화를 도시교통 인프라 관점에서 살펴보았으며, 자율주행의 영향을 크게 받을 것으로 예상되는 도로, 주차장, 주유소의 용량 및 기능 변화를 중심으로 제시하였다. 3장에서는 자율주행이 서울 시민의 통행행태에 미치는 영향을 전망하였는데, 서울 내부의 승용차 이용 수요 변화와 서울 외부의 광역교통 변화를 중심으로 서술하였다. 2장과 3장에서 분석한 내용을 토대로, 4장에서는 자율주행 시대를 준비하는 서울의 대응방향을 제안하였다. 우선 자율주행으로 변화가 예상되는 도로, 주차장 등 교통 인프라의 공간적 범위와 규모, 시사점을 GIS 분석을 통해 도출하고, 지역 및 유형별 특성에 적합한 교통인프라의 대응방향을 제시하였다. 또한, 도시교통체계 개편, 운영·관리 전략과 같은 소프트웨어적 관점의 대응방향도 제시하였다. 특히, 설문조사를 통해 도출한 시민 의견을 반영하여 자율주행 시대의 서울의 도시교통체계 변화 방향을 설정하고, 자율주행의 혜택이 시민 모두에게 제공될 수 있도록 대중교통(공유교통) 중심의 미래 도시교통체계 개편 방안을 제안하였다. 또한 물리적 대응방안으로는 한계가 있는 대도시 서울의 상황을 고려하여, 자율주행으로 변화가 예상되는 통행행태에 대응하는 도시교통운영 전략도 검토하였다. 마지막으로 연구의 범위를 도시계획,

건축계획 등 도시의 공간적 범위로 확장하여, 도시교통과 도시계획, 건축물을 통합하는 공간관리체계의 구축을 제안하였다.



[그림 1-2] 연구 구성



02

자율주행으로 인한 도시교통 인프라 변화 전망



- 1_자율주행 시대의 도로
- 2_무인 주차 시대의 주차장
- 3_자율주행 전기차 시대의 주유소
- 4_자율주행 시대의 도시교통 인프라 변화 시사점

02. 자율주행으로 인한 도시교통 인프라 변화 전망

1_자율주행 시대의 도로

1) 자율주행으로 인한 도로용량의 변화

1900년대 초 근대적인 자동차가 도입된 이후 현대 도시의 도로는 사람이 직접 운전하는 유인차¹⁾에 맞추어 발전을 거듭하였고, 교통공학, 도로공학 등 다양한 학문을 통해 이론 체계를 정립하여 왔다. 하지만, 운전의 주체가 사람에서 기계로 전환되는 자율주행 시대에는 개별 자동차의 특성이 근본적으로 달라질 것으로 예상되고 있으며 지금까지 구축되었던 도로의 특성도 크게 변화할 것으로 전망된다.

자율주행으로 변화가 예상되는 도로의 특성 중 가장 중요한 사항은 도로의 용량(capacity) 변화이다. 도로용량은 일정 시간 동안 해당 도로를 이용(통과)할 수 있는 최대 교통량을 의미하는데, 도로계획, 도로설계, 서비스수준 분석 등 다양한 분야에서 중요한 기준으로 활용되고 있다. 자율주행 도입에 따른 도로용량의 변화는 기존의 많은 연구에서 분석되었으며, 일반적으로 인지반응시간과 차간거리 감소 등으로 인해 도로용량이 증가할 것으로 전망하고 있다.

2017년 국토연구원²⁾에서는 미시적 시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여 자율주행 자동차의 특성을 반영한 도로용량 증대 효과를 추정하였다. 도로의 용량은 자율주행 자동차 점유율에 영향을 받는 것으로 나타났는데, 자율주행 자동차 점유율이 70%에 도달할 때까지는 도로용량이 완만하게 증가하고 점유율 80% 이상부터는 급속히 증가하는 것으로 분석되었다. VISSIM 시뮬레이션에서 자율주행 자동차의 반응시간 계수(CC1, Headway Time)를 0.1초로 가정하여 고속국도와 도시고속도로 등 연속류 도로의 용

1) 사람이 직접 운전하는 자동차를 의미함

2) 이백진 외, 2017, 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구, 국토연구원.

량을 추정한 결과, [표 2-1]에 나타난 바와 같이 자율주행 자동차 점유율이 100%인 경우 차로당 도로용량이 최대 190.5%까지 증가한 3,645대/시까지 증가할 수 있는 것으로 분석되었다.

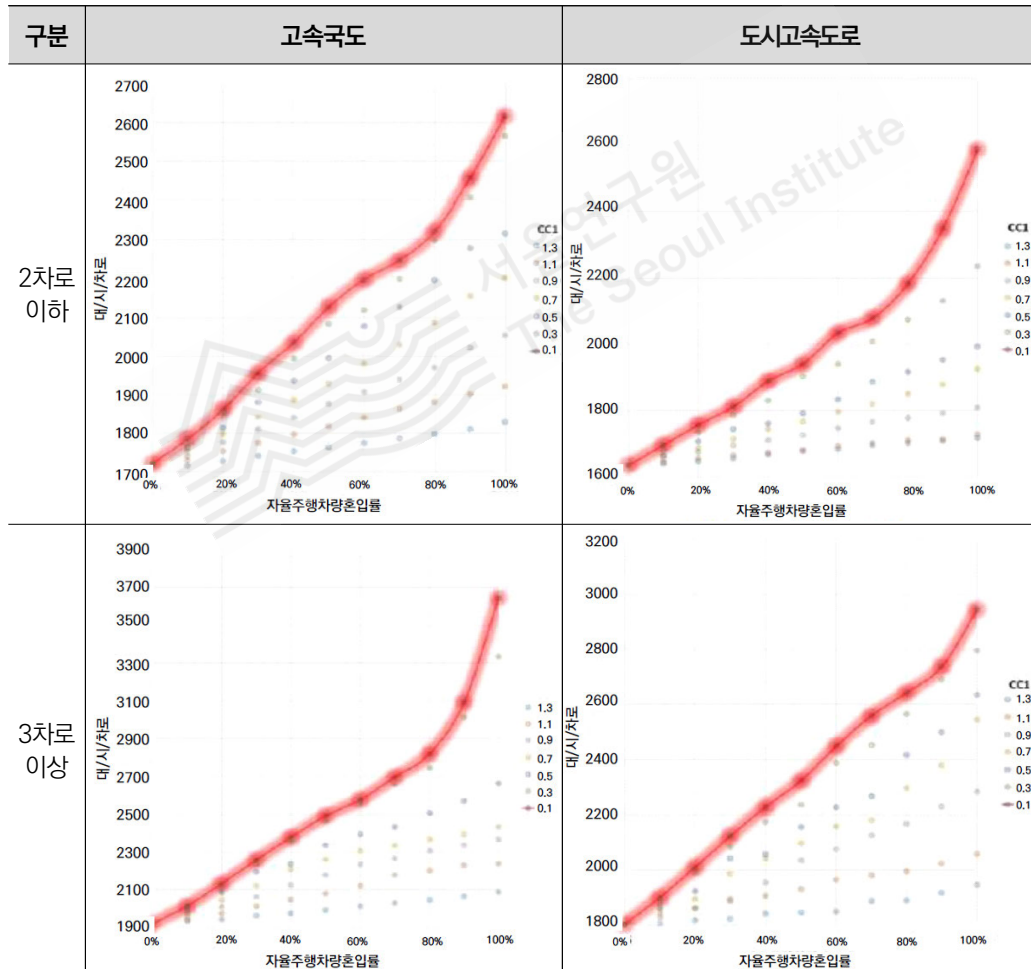
[표 2-1] 자율주행 자동차 도입으로 인한 연속류 도로의 용량 증대 효과

(단위: 대/시/차로, %)

구분		기준용량(문헌값)	시뮬레이션 분석용량	최대용량 증대효과
고속국도	2차로 이하	1,700	2,617	152.0%
	3차로 이상	1,900	3,645	190.5%
도시고속도로	2차로 이하	1,600	2,586	164.8%
	3차로 이상	1,800	2,945	179.4%

자료: 이백진 외, 2017, 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구, 국토연구원, p.65.

[표 2-2] 차두시간, 자율주행차 혼입률 변화에 따른 연속류 도로용량 변화



자료: 이백진 외, 2017, 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구, 국토연구원, p.66.

한편, 신호교차로의 영향을 받는 도심의 단속류 도로에서는 자율주행으로 인한 용량 증가 효과가 제한적인 것으로 나타났다. 연속류 분석과 동일한 조건(반응시간 계수 0.1초, 점유율 100%)으로 도로용량 변화를 추정한 결과, 단속류 도로의 용량은 [표 2-3]과 같이 1.1~1.6배 수준 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과는 도시고속도로를 제외한 대부분의 도로가 신호교차로의 영향을 받는 단속류 도로인 서울에서는 자율주행의 도입 효과가 제한적일 수 있음을 보여주고 있다.

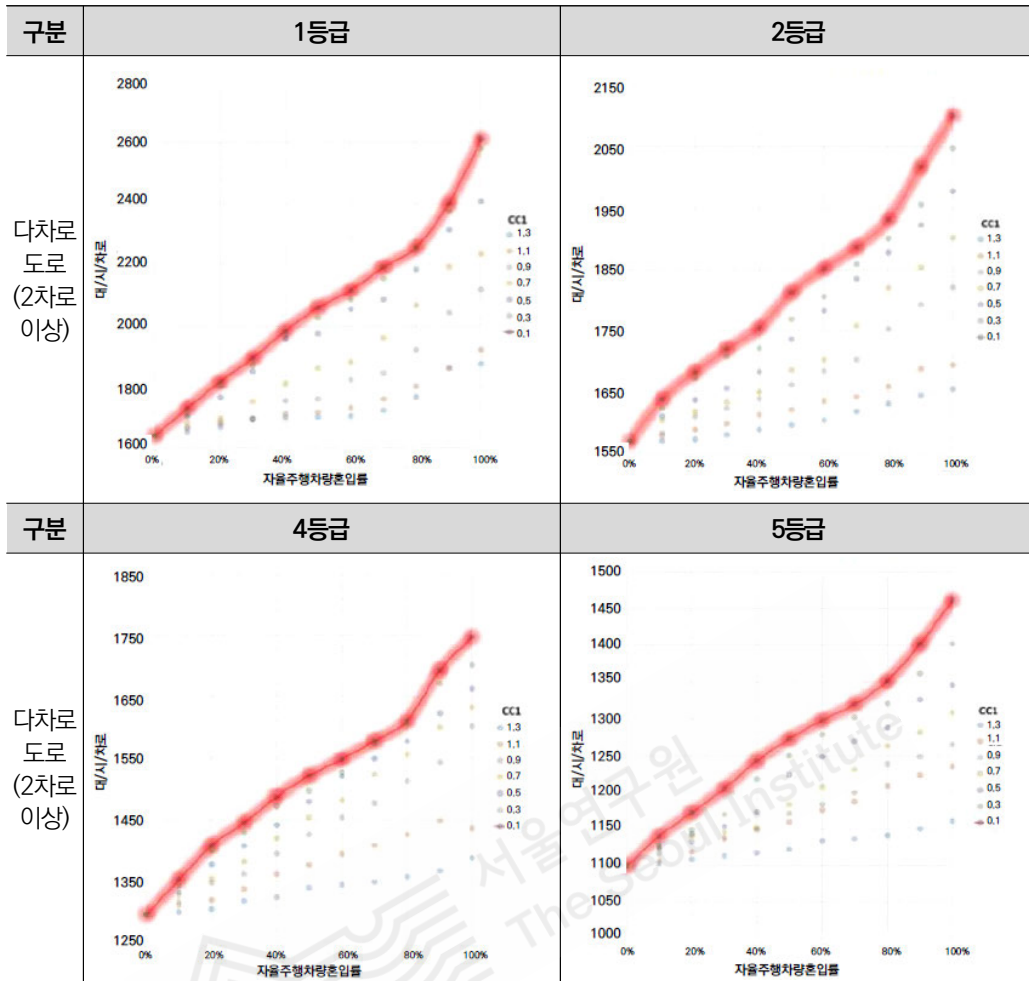
[표 2-3] 자율주행차량 도입으로 인한 단속류 도로용량 증대 효과

(단위: 대/시/차로, %)

구분		기준용량(문헌값)	시뮬레이션 분석용량	최대용량 증대효과	
다차로 도로	1등급	1차로	800	978	121.0%
		2차로 이상	1,650	2,613	159.1%
	2등급	1차로	751	872	114.6%
		2차로 이상	1,550	2,102	134.0%
	3등급	1차로	703	798	112.7%
		2차로 이상	1,450	1,938	133.6%
	4등급	1차로	630	782	124.1%
		2차로 이상	1,300	1,748	134.9%
	5등급	1차로	533	595	112.5%
		2차로 이상	1,100	1,462	133.0%
	6등급	1차로	387	462	118.2%
		2차로 이상	800	1,053	131.6%
	램프		1,000	1,302	129.4%

자료: 이백진 외, 2017, 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구, 국토연구원, p.67.

[표 2-4] 차두시간, 자율주행차 혼입률 변화에 따른 단속류 도로용량 변화



자료: 이백진 외, 2017, 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구, 국토연구원, p.69.

한편, 2020년 토지주택연구원³⁾에서는 자율주행 자동차 도입으로 인한 도로 네트워크의 성능변화를 분석하여 향후 도로 공간 감소에 대한 가능성을 제시하였다. 분석 대상지역은 [그림 2-1]과 같이 경기도 성남시 분당구의 일부 구간(13개 교차로, 약 4.5km)으로 설정하였으며, 자율주행 자동차의 혼입 비율, 교통량, 도로의 차로수 등을 변화시키며 시뮬레이션(VISSIM)을 통해 도로 네트워크의 상태 변화를 분석하였다. 분석 결과 자율주행 자동차가 도입되면 현재의 서비스 수준을 유지하면서 감소시킬 수 있는 도로 공간은 약 20%인 것으로 나타났다([표 2-5] 참고). 시뮬레이션을 통해 도출된 결과를 경기도 성남시 분당구 전체 도로에 적용한 결과, 시가화 지역 면적 대

3) 변완희 외, 2020, 자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구, 토지주택연구원.

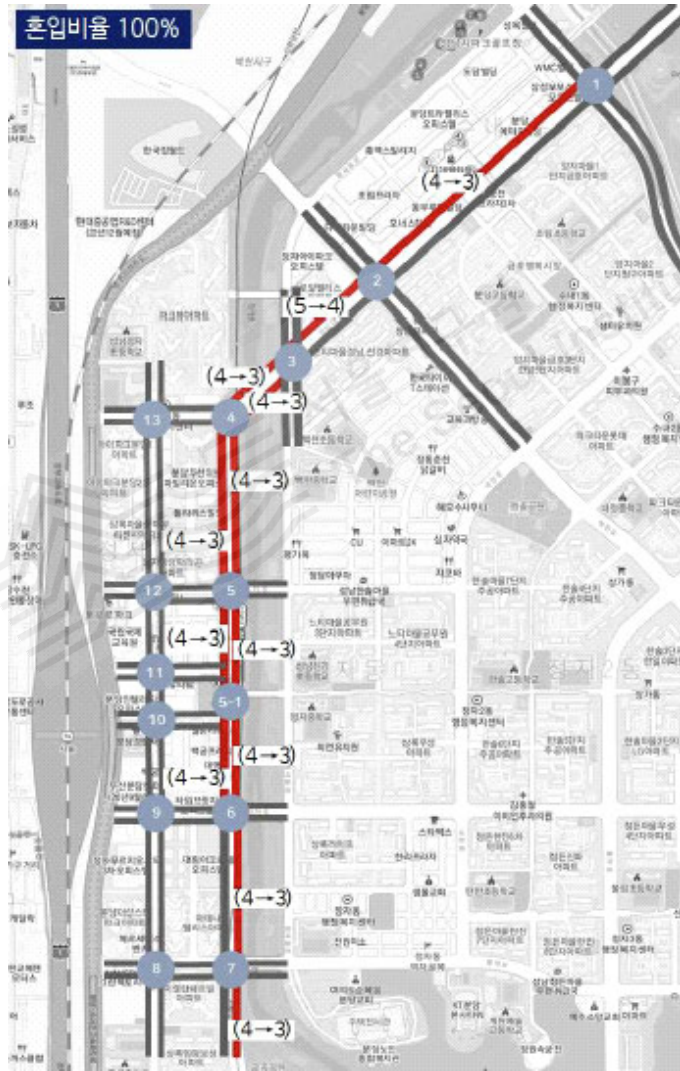
비 9.2%(점유율 50%) ~ 9.8%(점유율 100%)의 도로 공간 감소가 가능한 것으로 분석되었다.

[표 2-5] 자율주행차량 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서의 도로 감소비율

(단위: m², %)

구분	도로	면적	감소 가능 면적	감소 비율
50%	편도 4차로 이상	66,205	12,320	18.9
	편도 3차로 이하	57,470	-	-
100%	편도 4차로 이상	65,205	13,230	20.3
	편도 3차로 이하	57,470	-	-

자료: 변완희 외, 2020, 자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구, 토지주택연구원, p.16.



자료: 변완희 외, 2020, 자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구, 토지주택연구원, p.93.

[그림 2-1] 자율주행자동차 혼입 비율 100% 차로 감소 결과

[표 2-6] 자율주행차량 혼입 비율에 따른 시뮬레이션 네트워크에서의 도로 감소비율

(단위: m², %)

구분	도로	면적	적용 감소율	감소 면적	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		-	-

자료: 변완희 외, 2020, 자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구, 토지주택연구원, p.16.

2) 자율주행으로 인한 도로 변화 추정 시 고려사항

앞서 살펴본 바와 같이 자율주행 기술이 발전하고 자율주행 자동차의 점유율이 높아지게 되면 도로용량 증가로 인한 교통 혼잡 감소를 기대할 수 있다. 또한 현재와 동일한 수준의 교통서비스 수준을 유지하는 것을 목표로 하는 경우에는, 자동차에 할당되어 있는 도로 등 교통인프라의 공간 일부를 보행자를 위한 공간이나 녹지 등 생활지원 공간으로 전환할 수도 있을 것이다.

하지만 자율주행으로 인한 장래 도로 공간의 변화를 올바르게 전망하기 위해서는 도로 인프라의 용량 변화뿐만 아니라 자율주행의 영향을 받는 교통수요 등 도시 교통의 전반적인 변화를 고려해야 한다. Butler 등(2020)의 연구⁴⁾에서는 자율주행으로 인한 도로용량 증가를 전망하면서, 개인승용차 선호로 인한 승용차 수요 증가, 접근성 향상으로 인한 추가 교통수요 발생 등을 자율주행의 잠재적인 위험요소로 제기하고 있다. 자율주행이 상용화되면 편리한 신교통수단을 이용하려는 수요가 증가하고, 운전면허 미취득 등으로 자동차를 이용하지 못하였던 사람들이 승용차를 이용하는 경우도 발생할 수 있기 때문이다. 이러한 승용차 수요의 증가는 자율주행으로 향상된 도로용량의 효과를 상쇄시킬 수 있다. 특히 통행량이 많은 대도시 서울에서는 자율주행으로 개선되는 도로 환경을 이용하려는 잠재적 수요가 다른 지역보다 높을 것으로 예상할 수 있다. 증가하는 교통수요가 향상된 교통용량과 같거나 크게 된다면 도로의 서비스 수준은 다시 이전과 같은 상태로 회귀하거나 더 악화될 수도 있다. 따라서, 자율주행의 영향을 전망하기 위해서는 도로용량 증가와 함께 교통수요의 변화도 고려해야 한다. 또한, 일부 구간의 도로용량 변화는 전체 도로 네트워크 용량에 영향을 주지 않거나

⁴⁾ Luke Butler et al., 2020, Smart Urban Mobility Innovations: A Comprehensive Review and Evaluation, IEEE ACCESS.

오히려 상태를 악화시키는 경우도 발생시킬 수 있다. 선형으로 이루어져 독립적인 특성을 갖는 고속도로와 달리 도시부 도로는 네트워크를 형성하며 서로 직간접적인 영향을 미치게 된다. 특히 서울은 불규칙적인 도로 형태를 가지고 있는 강북지역과 비교적 격자형 도로형태가 많은 강남지역, 강남·북을 연결하는 한강 교량 등 복잡하고 다양한 도로 네트워크를 가지고 있다. 따라서 자율주행으로 인해 서울의 도로 네트워크 중 일부 구간의 용량이 증가하는 경우, 도로 네트워크 전반에 어떠한 영향을 미치는지 면밀히 살펴봐야 한다. 특히, 도로의 혼잡은 대부분 특정한 병목구간에서 발생하게 되는데, 해당구간의 개선 없이 일부 도로구간의 용량만 증가시키게 된다면, 병목구간으로 진입하는 교통량이 증가하여 오히려 더욱 극심한 교통혼잡을 발생시킬 수 있다. 따라서, 자율주행으로 인한 도로용량의 변화는 전체적인 도로 네트워크 차원에서 분석해야 한다.

한편, 이미 극심한 혼잡이 발생하고 있는 서울에서 자율주행으로 인한 용량 증대 효과가 유의미한 교통혼잡 개선 효과로 이어질 수 있을 지 검토해야 한다. 지난 2019년 한국교통연구원에서 산출한 지자체별 교통혼잡비용⁵⁾을 살펴보면, 서울의 단위거리당 교통혼잡비용은 41.8억원/km으로 지자체 중 가장 높은 수준이다([표 2-7] 참고). 또한, 2021년 기준 서울의 일 평균통행속도는 23.0km/h이며, 복잡한 도시 구조와 높은 도심 진입·진출 교통량 등으로 수년간 점차 감소하고 있는 추세를 보여주고 있다([그림 2-2] 참고). 특히, 교통량이 가장 많은 오후 첨두 시간에는 평균속도가 17.8km/h까지 감소하는 것으로 나타나 서울의 교통혼잡이 이미 극심한 상황임을 보여주고 있다([표 2-8] 참고). 이처럼 심각한 도시부 도로 상황을 묘사하기 위해 우리나라의 도로용량편람은 극심한 혼잡을 묘사하는 별도의 서비스 수준 기준까지 제시하고 있다. 통행속도, 통행시간, 통행 자유도, 안락감, 교통안전과 같은 도로 운행 상태를 설명하는 개념인 도로 '서비스 수준'은 일반적으로 A~F(A로 갈수록 좋은 상태)까지 6등급으로 나누어지게 되는데, 이때, 서비스 수준 E와 F수준의 경계가 도로의 용량을 의미한다.⁶⁾ 하지만 우리나라 도시부 도로의 경우 용량을 초과하는 경우가 다수 발생하고 있기 때문에, 같은 서비스 수준 F라 하더라도 [표 2-9]와 같이 F, FF, FFF로 그 기준을 구분하여 제시하고 있는 것이다. 이렇듯 이미 혼잡이 극심한 서울에서 자율주행으로

5) 교통혼잡비용은 도로상에서 교통혼잡으로 인해 정상속도(교통혼잡비용 추정에 기준이 되는 속도) 이하로 운행하게 되어 기준속도와의 차이로 발생하게 되는 비용을 의미함

6) 국토해양부, 2013, 도로용량편람, p.2에서 일부 발췌.

인해 도로의 용량이 증가하였을 때, 기존의 서비스 수준을 유지하거나 이를 기반으로 도로공간을 감소시키는 전략은 적절하지 않을 수 있다. 자율주행 기술로 인해 서울 시민들이 교통혼잡의 어려움을 겪지 않을 수 있도록 도로 서비스 수준의 새로운 목표 설정이 우선되어야 할 것이다.

이처럼 자율주행 시대의 도로 변화를 전망하기 위해서는 도로 인프라의 용량 변화뿐만 아니라, 전반적인 도시의 교통수요 변화와 도로를 이용하는 행태 변화 등을 종합적으로 고려해야 한다. 따라서 이 연구에서는 3장에서 교통수요와 통행행태의 변화를 구체적으로 살펴보고, 4장에서는 이를 종합하여 도로 인프라의 대응방향을 제안하고자 한다.

[표 2-7] 시도별 교통혼잡비용 추정결과 및 1km당 교통혼잡비용

(단위: 원, km, 억원/km)

구분	교통혼잡비용		주제도 연장(km)	1km당 교통혼잡비용	
	혼잡비용(조원)	순위		1km당 교통혼잡비용(억원/km)	순위
전국	70.62	-	113,098	6.2	-
서울	13.51	2	3,232	41.8	1
부산	4.41	3	2,541	17.4	3
대구	3.89	6	2,097	18.6	2
인천	4.10	4	2,726	15.0	6
광주	2.66	8	1,591	16.7	5
대전	2.48	10	1,378	18.0	4
울산	1.60	15	1,961	8.2	8
세종	0.33	17	824	4.0	9
경기도	19.23	1	17,499	11.0	7
강원도	1.73	14	10,131	1.7	16
충청북도	2.31	11	7,707	3.0	11
충청남도	2.60	9	9,455	2.7	12
전라북도	2.28	12	9,672	2.4	13
전라남도	1.92	13	12,817	1.5	17
경상북도	2.90	7	14,869	2.0	15
경상남도	3.97	5	11,825	3.4	10
제주	0.70	16	2,774	2.5	14

자료: 천승훈 외, 2021, 2021 국가 교통정책 평가지표 조사사업 제3권 교통혼잡비용, 한국교통연구원, p.62.

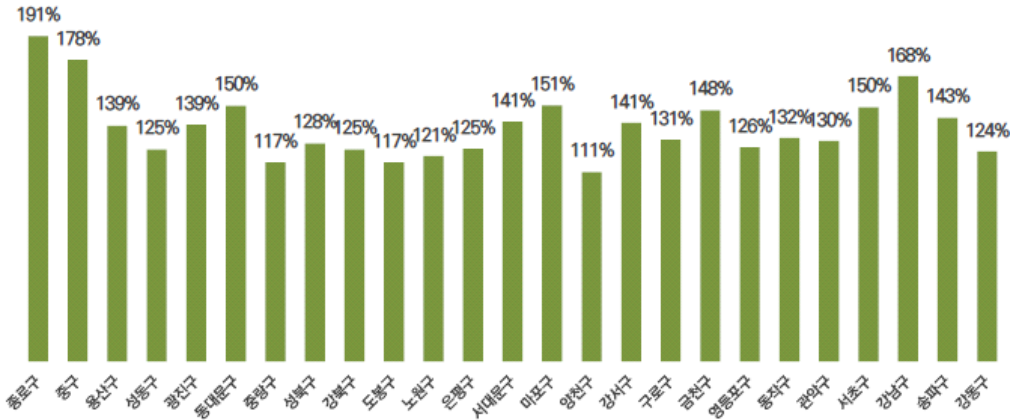
2_무인 주차 시대의 주차장

자율주행 기술은 도로뿐만 아니라 주차장도 변화시킬 것으로 전망된다. 특히, 주차장에서는 자동차가 상대적으로 낮은 속도로 운행하고 도로에 비해 차량 및 다른 교통수단 간 상충이 발생할 요소가 적기 때문에 자율주행 기반의 무인 주차로 인한 주차 공간 변화는 도로보다 더 빨리 이루어 질 가능성이 높다. 이 장에서는 서울의 주차장 현황을 살펴보고, 자율주행 기술로 인한 주차장의 변화를 전망하였다.

1) 서울의 주차장 현황

서울시의 2021년 주차장 확보율⁷⁾은 137.1%이다. 자치구별로 살펴보면, 종로구(191.4%), 중구(177.5%), 강남구(167.9%)의 주차장 확보율이 높은 편이며, 양천구(111.3%), 도봉구(117.0%), 중랑구(117.1%) 등은 주차장 확보율이 낮은 것으로 나타났다. [그림 2-3]에 나타난 바와 같이 모든 자치구의 주차장 확보율이 100%가 넘는 상황이지만 서울의 주차장은 여전히 충분하지 않으며, 특히 시공간적으로 수요와 공급의 불균형이 발생하고 있다. 일반적으로 주차장 확보율은 해당 자치구에 등록되어 있는 차량 대수와 주차장 면수를 기준으로 산정하게 되는데, 이렇게 산출되는 주차장 확보율은 실제적인 주차 수요를 반영하지 못하는 단점이 있다. 예를 들어 도봉구에 등록된 차량이 강남구에 있는 회사로 출근하여 강남구 소재지의 주차장에 주차를 하는 경우, 주차수요는 강남구에서 발생하지만 강남구의 주차장 확보율 산정 시에는 반영되지 않는 것이다. 따라서, 특정 지역의 주차장 확보율이 100%를 넘더라도, 외부에서 유입되는 주차수요를 반영하지 못해 실질적으로는 주차공급이 부족할 수 있다.

7) 주차장 확보율은 총 자동차등록대수 대비 총 주차면수의 비율을 계산한 값임



자료: 서울 열린데이터 광장, 2021, 서울시 주차장 확보율 통계.

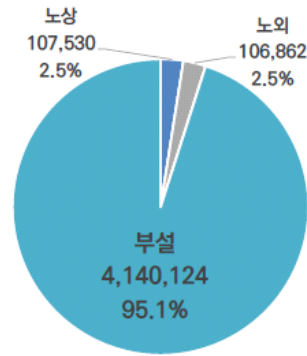
[그림 2-3] 서울시 자치구별 주차장 확보율(2021년 기준)

서울의 주차장을 상세히 살펴보면 2021년 기준 총 314,440개소의 주차장과 총 4,354,516면의 주차면수를 가지고 있다. 서울 주차장의 가장 큰 특징은 부설주차장의 비율이 높은 것이다. 총 면수를 기준으로 주차장법에 의한 유형별 비율을 살펴보면, 건축물 내 또는 건축대지 내 설치되는 부설주차장의 비율이 95.1%로 대부분을 차지하고 있으며, ‘거주자 우선주차장’과 같은 노상주차장과 ‘공영주차장’과 같은 노외주차장이 각각 2.5%의 비율을 차지하고 있다.

[표 2-10] 서울시 유형별 주차장(2021년 기준)

(단위: 개, 면, %)

구분	개소수	면수	
		면수	비율
소계	314,440	4,354,516	100.0%
노상	10,836	107,530	2.5%
노외	1,956	106,862	2.5%
부설	301,648	4,140,124	95.1%



자료: 서울 열린데이터 광장, 2021, 서울시 주차장 통계.

서울 주차장의 또 다른 특징은 민영주차장의 비율이 높은 것이다. 서울 주차장을 운영·관리 주체 기준으로 구분하여 살펴보면, 서울시설공단 등이 운영하는 공영주차장

은 약 18만 면으로 전체의 4.1%를 차지하는 반면, 민영주차장의 비율은 약 417만 면으로 전체의 95.9%를 차지하고 있다. 부설주차장과 민영주차장의 비율이 아주 높은 서울의 주차 특성은 주차정책 수립에 중요한 제약조건이 되고 있으며, 향후 자율주행 시대의 주차정책 변화 수립 시에도 반영할 필요가 있다.

[표 2-11] 서울시 운영·관리 주체별 주차장(2021년 기준)

(단위: 개, 면, %)

구분	개소수	면수	
		면수	비율
소계	314,440	4,354,516	100.0%
공영	11,934	180,488	4.1%
민영	302,506	4,174,028	95.9%

자료: 서울 열린데이터 광장, 2021, 서울시 주차장 통계.

2) 자율주행 기술로 인한 주차장의 기능적 변화

자율주행 기술은 도로상에서 시범운행 중 발생하는 인명사고와 예측 불가능한 주행환경 등으로 최근 기술적 한계에 당면해 있지만, 비교적 안정적인 운영환경 조성이 가능한 자율주행 주차 기술은 이미 상당 부분 상용화가 진행되었다. 자동차 제조사인 메르세데스-벤츠(Mercedes-Benz)에서는 차량이 스스로 주차와 출차를 하는 ‘Parking Pilot’ 기능을 지난 2016년에 선보였으며, 볼보(Volvo)에서도 주차 편의를 돕는 ‘Park Assist Pilot’ 기능을 상용화하였다. 포드(Ford)에서도 초음파 센서를 이용하여 자동차 스스로 주차 및 출차를 수행하는 ‘Active Park Assist’ 기능을 제공하고 있으며, 현대기아차는 자율주차 기능 중 하나인 지능형 주차 조향 보조시스템(SPAS)을 제공하고 있다.⁸⁾

이러한 무인 주차 기술은 주차장의 형태와 기능에 많은 변화를 일으킬 수 있다. 사람의 탑승 없이 주차장 내에서 자동차 스스로 주차할 수 있기 때문에 주차 후 사람이 타고 내리는 공간을 고려하지 않아 밀집주차가 가능하게 되고, 주차장의 높이도 차량

8) 김원호 외, 2018, 서울시 자율주행차 주차수요 관리방안, 서울연구원, p.20에서 발췌.

만 고려하여 현재보다 낮아질 수 있다. 주차장 내에서 사람의 이동 동선이 사라지므로 이동통로, 경사로, 승강기 등 기존에 사람이 이용하던 공간을 제외하고 보다 효율성이 높은 주차장 설계방식을 적용할 수도 있다. 또한, 장애에 자율주행 주차 기술이 더 발전하여 탑승자를 목적지 근처에 내려주고 차량이 스스로 주차장으로 이동해서 주차하는 완전 자율주차 기술이 상용화되면, 주차장까지의 이동동선, 지상의 노상 및 노외 주차장의 형태와 위치도 크게 변화할 것으로 예상된다. 팔레트 형태의 기계식 주차장 등을 지하에 설치하는 방식을 적용함으로써 기존 주차장 공간을 다양한 용도로 활용할 수도 있을 것으로 전망된다. 자율주행 기술로 인한 주차장의 기능적 변화를 전망한 기존의 연구를 정리하면 다음과 같다.

[표 2-12] 주차장 기능변화에 따른 공간 감소 효과 관련 연구

연번	출처	대상지	주차장 감소 효과
1	Audi Urban Future Initiative(2015)	Boston Somerville	- 기존 주차장 대비 최대 60% 효율 향상 - 자율주행차량 주차에 필요한 공간은 차량당 2㎡
	<p>ADVANCED ARRIVAL URBANIZING PARKING</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 DROP-OFF SERVICE: Instant access to urban life without any delays. 2 GAINING TIME: Move over - lots have parking. Pooled parking lots, up valuable tourist time. 3 CAR ON DEMAND: Providing individualized premium mobility on demand app. 4 CAR PARKS ITSELF: Efficient parking. Capacity of parked car technology. 5 INDUCTIVE CHARGING: Charge the car while parking and always ready to go. 6 PICK-UP SERVICE: Meet your car for the street. Post lounge atmosphere. 		
2	Mehdi N., et al. (2017)	-	- 주차공간을 62%~87% 감소시킬 수 있음 - 유인영역 감소, 주차면적소
	<p>The diagrams show a comparison of parking layouts. The left diagram shows a traditional layout with cars parked in a grid pattern, with significant space between them. The right diagram shows a more compact layout where cars are parked closer together, maximizing the use of space. Labels include 'Street' and 'Building'.</p>		

자료: <https://www.designboom.com/design/audi-urban-future-initiative-11-20-2015/>
Mehdi N., et al., 2017, Toronto, Designing Parking Facilities for Autonomous Vehicle, TRB 2017

[표 계속] 주차장 기능변화에 따른 공간 감소 효과 관련 연구

연번	출처	주차장 감소 효과
3	Boomerang (2017)	<ul style="list-style-type: none"> - 낮은 천장 높이로 보행자 고려될 필요 없어 높이 요구량이 30~50% 감소 - 경사로, 통로, 승강기 및 계단 제거하여 공간 효율성 증대 - 컨베이어차량 간 밀집 주차 및 행렬보관으로 밀도 증대 
4	EITO&GLOBAL INC.	<ul style="list-style-type: none"> - 필요한 지상 공간은 일반 주차 시스템과 비교하여 28%만 필요 - 건설비용이 1/4 수준인 반면 자동차 용량 효율성은 약 3.5배 증대 
5	서울연구원 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 주차장의 경우 자율주행차량이 100%일 때 잉여 공간 30% 산출 - 신규주차장 건축 시, 자율주행차량이 100%일 때 기존 대비 33% 이상 추가 주차 가능  <p style="text-align: center;">기존 주차장: 잉여공간 30% 신규 주차장: 기존 대비 33% 이상 주차 가능</p>

자료: Boomerang Automated Parking Systems, 2017, Information on automated parking system.
<http://www.e-globalparking.com/technology/>
 김원호 외, 2018, 서울시 자율주행차 주차수요 관리방안, 서울연구원, p.76.

3) 공유교통으로 인한 주차수요 감소

도로의 경우와 마찬가지로 자율주행으로 인한 주차공간의 변화를 올바르게 전망하기 위해서는 주차 용량의 증가뿐만 아니라 주차수요의 변화도 주목해야 한다. 장래 주차수요를 크게 변화시킬 수 있는 가장 큰 요인은 자율주행 기반의 공유교통체계 도입이다. 공유교통체계가 형성되면 한 대의 자동차가 다수의 통행을 연속적으로 담당할 수 있어, 현재의 개인승용차와 비교할 때 훨씬 낮은 주차수요를 발생시킬 것으로 예상할 수 있기 때문이다.

기존의 많은 연구에서도 공유교통으로 인한 주차장 감소 효과를 제시하고 있다. OECD ITF(2015)의 연구에서는 포르투갈 리스본의 모든 사람들이 자율주행 공유자동차를 카풀 형태로 이용할 때 주차공간이 최대 94%까지 감소하며, 카셰어링 형태로 운영하는 경우에도 주차공간을 최대 89%까지 감소할 수 있는 것으로 분석하였다. 독일 베를린을 대상으로 하는 Bischoff and Maciejewski(2016) 연구에서도, 베를린의 총 4.7백만 통행 중 시내통행 2.5백만 통행을 공유형태의 자율주행차량으로 대체하는 경우 주차장을 최대 91%까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. Zhang and Guhathakurta(2017)의 연구에서는 미국 애틀랜타 전체 통행의 5%를 공유자율주행차로 대체할 때 주차비용에 따른 주차면 감소 효과를 검토하였는데, 주차비용이 무료일 때 전체 주차면 공간의 90.3%를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이처럼, 승하차 구역 제한, 주차요금 정책 등 공유교통체계를 운영하는 조건에 따라 주차수요 감소량은 달라질 수 있으나, 자율주행 기반의 공유교통이 활성화된다면 주차공간의 상당 부분을 감소시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

[표 2-13] 공유교통에 따른 주차장 공간 감소 관련 기존 연구

연번	출처	대상지	분석 조건	주차공간 감소 효과
1	OECD ITF(2015) ⁹⁾	포르투갈, 리스본	- 차량통행 100%를 공유자율주행차가 대체	- 카풀 시 92~94% 감소 - 카셰어링 시 84~89% 감소
2	Bischoff and Maciejewski (2016) ¹⁰⁾	독일, 베를린	- 개인차량 100%를 공유자율주행차로 대체 - 베를린 총 4.7백만 통행 중 시내통행 2.5백만 통행 대상	- 주차장 91% 감소
3	Zhang and Guhathakurta(2017) ¹¹⁾	미국, 애틀랜타	- 전체 통행의 5%를 공유자율주행차로 대체 - 주차비용 무료일 경우	- 주차면 90.3% 감소 - 주차공간 수요 도심에 집중

자료: 변완희 외, 2020, 자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구, 토지주택연구원, pp.48~56에서 주차관련 연구 내용만 일부 발췌.

4) 자율주행 시대의 주차 행태 전망

자율주행 시대에는 자동차 이용자의 주차행태도 크게 변화될 것으로 전망된다. 이 연구에서는 자율주행 시대에 시민들의 통행행태 변화를 전망하기 위해 수도권 거주자 1,400명(서울시민 700명, 인천·경기도민 700명)을 대상으로 설문조사를 수행하였다. 조사의 개요는 [표 2-14]와 같다. 주요 조사 내용은 자율주행차량의 차량 구매 및 출퇴근 시 수단전환 여부, 자율주행으로 인한 통행빈도 변화와 주차 및 충전(주유) 방식 변화 등으로, 이번 장에서는 주차행태 변화와 관련된 내용을 정리하여 제시하였다. 장래 자율주행으로 인한 실질적인 변화를 전망하기 위해 설문조사 시 레벨 4 이상의 고도화된 자율주행 자동차가 상용화된 경우를 전제로 하였다.

[표 2-14] 자율주행으로 인한 통행행태 변화 설문조사 개요

대구분	중구분	내용
개요	조사일시	2022년 7월 4주~8월 4주(약 한 달)
	조사대상	서울 및 경기도에 거주하며 서울로 출·퇴근 하는 사람
	조사표본	1,400명(서울거주 700명, 인천·경기 거주 700명)
	조사방법	온라인 설문
행태	자율주행차 이용행태	자동차 구매여부, 수단전환 여부, 추가이용(주중, 주말) 여부 등
주차	주차장소	자율주행 자동차 주차장 거리
충전	충전방식	선호하는 충전장소 및 방식

자율주행 자동차는 무인 운행이 가능하기 때문에 출근 시 사용한 자율주행 자동차를 주차장에 주차하지 않고 가족 등 다른 사람이 사용하기 위해 집으로 돌려보내거나 공유교통체계를 활용하여 유상 운송¹²⁾을 할 수도 있다. 설문 조사결과 ‘목적지 주차장 또는 인근 주차장에 주차해 놓는다’고 응답한 비율이 68.1%로 가장 높았으며, ‘다른 가족 구성원들의 사용을 위해 집으로 돌려보낸다’라는 응답은 20.5%로 나타났다. ‘타

9) ITP(International Transport Forum), 2015, Urban mobility system. Upgrade. How shared self-driving cars could change city traffic, Corporate Partnership Board Report. OECD.

10) 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.

11) 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.

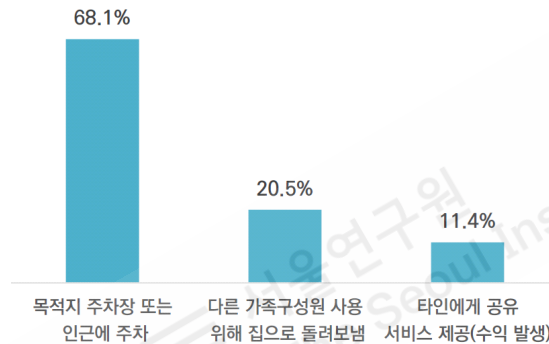
12) 이는 현재의 ‘우버’와 유사한 형태로 현행법 고려 시 자율주행 자동차를 이용한 유상운송은 적합하지 않을 수 있으나, 이 연구에서는 법·제도적 제한사항은 해소된 것으로 가정하고 조사를 수행함

인에게 대여하는 형태로 공유 서비스를 제공(수익을 발생하는 형태)한다'고 응답한 비율은 11.4%로 나타나, 수익이 발생하더라도 개인 소유차량을 타인과 적극적으로 공유하는 경우는 높지 않은 것으로 나타났다. 또한, 이용자들은 다른 곳으로 자유롭게 이동이 가능한 자율주행차량을 소유하더라도 필요할 때 즉시 활용할 수 있도록 목적지 가까운 곳에 주차하는 것을 여전히 선호함을 알 수 있다.

[표 2-15] 자율주행차량으로 출근 시 선호하는 주차장소

(단위: 명, %)

	계	목적지 주차장 또는 인근에 주차	다른 가족 구성원들의 사용 위해 집으로 돌려보냄	타인에게 대여하는 형태로 공유(수익 발생)
응답자 수	1,400	954	287	159
비율	100.0%	68.1%	20.5%	11.4%



[그림 2-4] 자율주행차량으로 출근 시 선호하는 주차장소

3_자율주행 전기차 시대의 주유소

1) 주유소 전환 추이

도시의 주요 교통 인프라 중 하나인 주유소는 이미 그 변화가 진행되고 있다. 2011년 1,000개소를 넘었던 서울의 석유판매소¹³⁾는 매년 3~7%씩 감소하여 2021년 현재 행정동당 약 1.5개 수준인 총 637개소까지 감소하였다. 이는 내연기관 자동차의 규제 등 환경 관련 이슈 증가, 전기차/수소차 등 친환경차의 도입, 도심형항공모빌리티

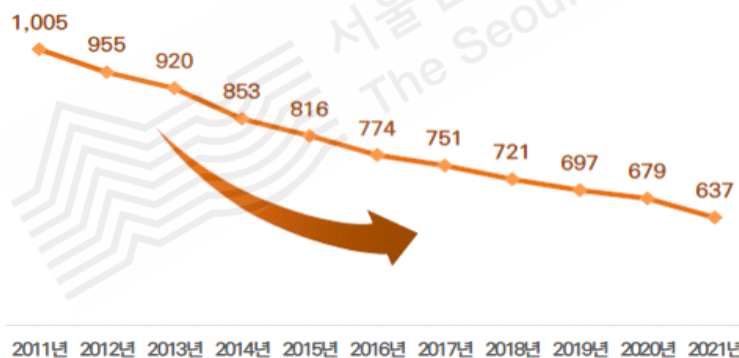
13) 석유판매소 개수는 주유소, 용제판매소, 일반판매소, 항공유판매업을 모두 합한 수치임

(UAM)와 같은 신교통수단 장려 정책 등의 영향이라 할 수 있으며, 앞으로도 기존 주유소의 형태와 시설, 입지는 다양하게 변화할 것으로 예상된다. 특히, 최근의 자동차 기술 발전 동향과 신차발표 추이, 전력소모가 높은 자율주행 자동차의 특성을 고려하면, 향후 자율주행 자동차는 전기차 기반의 자동차가 될 것으로 전망할 수 있다. 전기차는 유지·관리 비용이 적게 들고 환경오염물질 배출이 적어 점차 선호도가 증가하고 있으며, 자동차 제조사들도 미래 자동차의 개발 방향을 대부분 전기차 기반으로 하고 있다. 국제 협약 및 정책적인 측면에서도 전기차를 지원하는 각종 제도적 지원이 나타나고 있다.

[표 2-16] 서울시 석유판매소 개수 추이

(단위: 개소, %)

연번	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
개수	1,005	955	920	853	816	774	751	721	697	679	637
전년대비 증감율		-5.0%	-3.7%	-7.3%	-4.3%	-5.1%	-3.0%	-4.0%	-3.3%	-2.6%	-6.2%



자료: 서울 열린데이터 광장, 2011~2021, 석유판매소 현황

[그림 2-5] 서울시 석유판매소 개수 추이

서울시 역시 2050년까지 온실가스 순 배출량을 제로로 하는 ‘탄소중립도시’를 목표로 하고 있으며, 이를 위해 2025년까지 전기차 27만 대 보급, 충전기 20만 대 설치 등의 계획¹⁴⁾을 발표하였다. 또한, 국비 및 시비 지원을 통한 전기차 보조금을 통해

¹⁴⁾ 서울시, 기후환경본부 보도자료, 2021.8.31.

전기차의 보급률을 높이고자 노력하고 있다. 최근 서울시 신규 차량 등록 대수 중 전기차가 차지하는 비율은 전년 대비 73% 증가할 정도로 성장하여 향후 서울의 자동차는 전기차가 주류가 될 것으로 예상할 수 있다. 전기차의 증가와 함께 충전 인프라에 대한 수요도 점점 증가하고 있으며, 민·관 협력과 규제 개선 등을 통해 2030년까지 주유소를 활용한 친환경 충전 인프라를 서울시 전체로 확대하는 계획 등도 검토되고 있다(그림 2-6) 참조).



자료: 내 손안의 서울, 2022.2.10.

[그림 2-6] 주유소 및 전기차 충전시설을 갖춘 '종합에너지스테이션(ETS)'(서울시 금천구)

2) 자율주행 시대의 주유(충전)행태 변화

자동차가 대부분 전기차로 전환될 것으로 예상되는 미래 자율주행 시대에는 기존의 주유소가 다양한 형태의 전기차 충전소로 변화될 것으로 예상된다. 하지만, 내연기관차의 특성에 맞추어 발전하였던 주유소가 장래 전기차 시대에 대응하기 위해서는 단순히 취급 물질의 변경뿐만 아니라 전기차 충전 시 변화될 수 있는 이용행태를 반영해야 할 것이다.

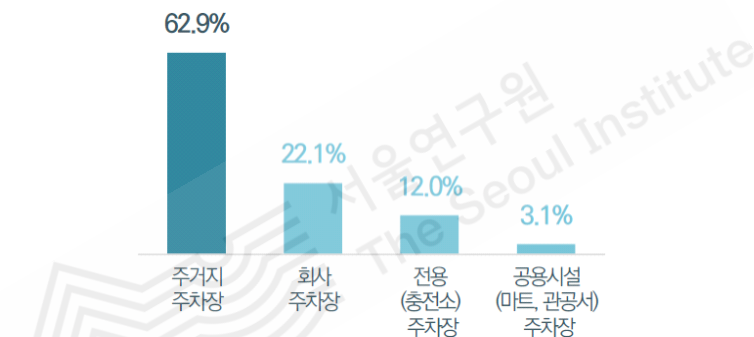
앞서 언급한 수도권 시민 설문조사를 통해 '자율주행 자동차가 전기차일 때, 선호하는 충전장소와 충전형태'에 관한 조사를 시행하였다. 조사결과 충전장소에 대해서는 주거지 주차장을 선호한다는 응답이 62.9%로 가장 높게 나타났으며, 회사 주차장

(22.1%)과 전용시설 주차장(12.0%)이 뒤를 이었다. 특히, 장소마다 선호하는 충전방식(완속 또는 급속)에 대해 질문한 결과, 주거지에서는 가격이 저렴한 완속을 선호하였고, 전용 및 공용시설에서는 가격이 높아도 충전속도가 빠른 급속 충전방식을 선호하는 것으로 나타났다. 향후 자율주행 전기차 시대에는 전용 시설 중심으로 발전하였던 도시의 주유소가 주거지 주차장에서 완속으로 충전하는 방식으로 변경될 것으로 예상된다. 또한 기존의 도시 주유소 형태는 지속적으로 감소하고 UAM등 신교통수단과 결합한 새로운 모빌리티 허브 중심으로 개편될 것이다.

[표 2-17] 전기차 기반 자율주행 자동차의 선호하는 충전장소

(단위: 명, %)

구분	계	주거지	회사	전용시설 (예: 충전소)	공용시설 (예: 마트, 관공서, 은행)
응답자 수	1,400	880	309	168	43
비율	100.0%	62.9%	22.1%	12.0%	3.1%



[그림 2-7] 자율주행차가 전기차일 경우 선호하는 충전장소

[표 2-18] 장소별 충전 선호형태

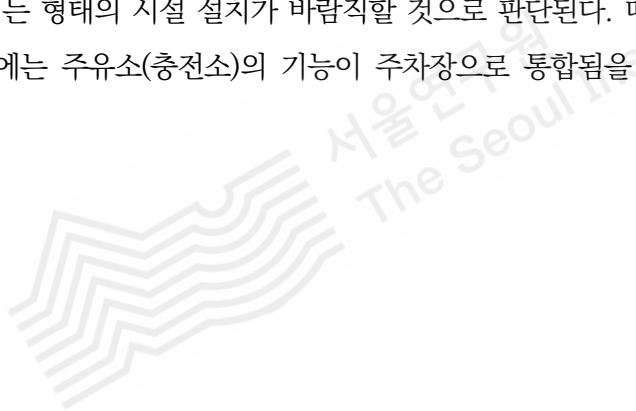
(단위: 명, %)

구분	완속		급속	
	응답자수	비율	응답자수	비율
주거지	427	30.5%	973	69.5%
회사	662	47.3%	738	52.7%
전용시설 (충전소)	1163	83.1%	237	16.9%
공용시설 (마트, 관공서, 은행)	1185	84.6%	215	15.4%

장소	완속 (%)	급속 (%)
주거지 주차장	30.5%	69.5%
회사 주차장	47.3%	52.7%
전용 (충전소) 주차장	83.1%	16.9%
공용시설 (마트, 관공서) 주차장	84.6%	15.4%

4_자율주행 시대의 도시교통 인프라 변화 시사점

이번 장에서 살펴본 자율주행 시대에 서울의 도시교통 인프라의 변화를 통해 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 자율주행 기술 상용화 시 도로용량은 증가할 것으로 예상되나, 이러한 장점만을 고려하여 향후 차로수를 축소하는 등의 도로계획을 수립하기에는 한계가 있다. 용량 증가와 함께 예상되는 교통수요의 증가, 통행행태의 변화 등에 대한 고려가 필요하기 때문이다. 둘째, 도로의 경우와 유사하게 자율주행 기술로 인한 주차장의 용량 증가에 대해서도 주차 행태의 변화, 특히 주차수요에 큰 영향을 미치는 도시의 공유교통체계 도입 등을 살펴보아야 한다. 따라서 3장에서 서울의 교통수요와 같은 통행행태의 변화와 도시교통체계의 변화 방향을 진단하고자 한다. 셋째, 이미 진행되고 있는 주유소의 변화는 향후에도 개소 감소와 형태 전환 등이 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다. 또한, 자율주행 시대에 자동차가 전기차 기반으로 전환될 경우 전용충전소 형태의 개별 시설 설치보다는 충전의 기능이 주차장과 통합되는 형태의 시설 설치가 바람직할 것으로 판단된다. 따라서, 4장의 대응방향 수립 시에는 주유소(충전소)의 기능이 주차장으로 통합됨을 전제로 하였다.



03

자율주행 시대, 서울의 통행행태 변화 전망



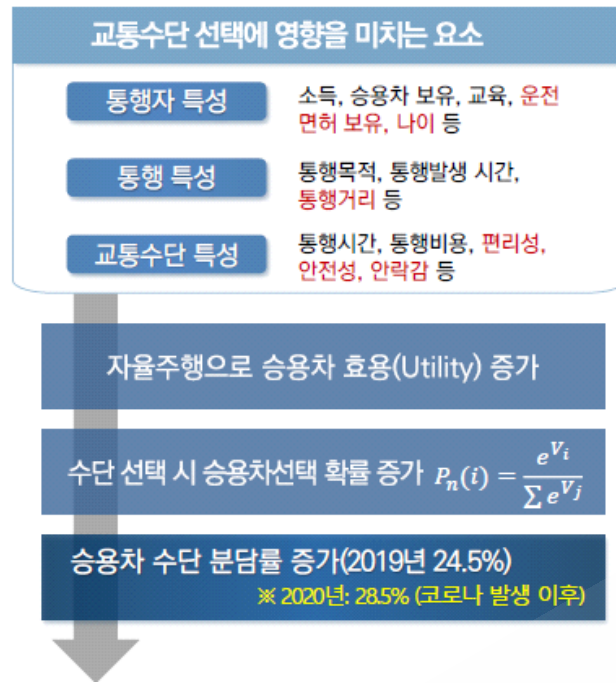
- 1_서울의 승용차 이용 변화
- 2_자율주행과 서울의 광역교통 변화
- 3_자율주행으로 인한 도시의 교통체계 변화

03. 자율주행 시대, 서울의 통행행태 변화 전망

1_서울의 승용차 이용 변화

1) 자율주행으로 인한 개인 승용차 이용 증가

자율주행 기술이 상용화되면 승용차 수단을 선택하는 이용 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 개인은 일상통행에서 다양한 요소를 고려하여 교통수단을 선택하게 되는데, 차량보유, 소득수준, 교육수준, 운전면허 유무 등 통행자 개인의 특성과 통행 목적, 통행 거리 등 통행의 특성, 이동시간 및 비용, 편리성 등 교통수단의 특성을 종합적으로 반영하게 된다. 향후 자율주행 기술의 고도화는 각각의 측면에서 승용차의 효율을 높여 줄 것으로 예상된다. 통행자가 운전할 필요가 없어 승용차 이용 시 제약 사항이었던 운전면허 보유 여부가 상관이 없어져 어린이나 고령자 등 운전이 제약이 있었던 시민들도 승용차를 이동수단으로 선택할 수 있기 때문이다. 또한, 자율주행 자동차 내에서 운전 외의 다른 활동이 가능해지면서 차내 통행시간 증가에 대한 저항이 낮아지며, 고도화된 자율주행 기술은 승용차 이용의 안전성과 쾌적성을 향상시킬 수 있다. 이러한 자율주행 자동차의 특성으로 전반적인 승용차 이용효용이 증가하게 되고, 현재 25% 수준인 서울의 승용차 수단 부담률을 크게 증가시킬 것으로 전망된다.



[그림 3-1] 교통수단 선택에 영향을 미치는 요소와 수단분담률

2) 대중교통에서 자율주행 자동차로의 전환

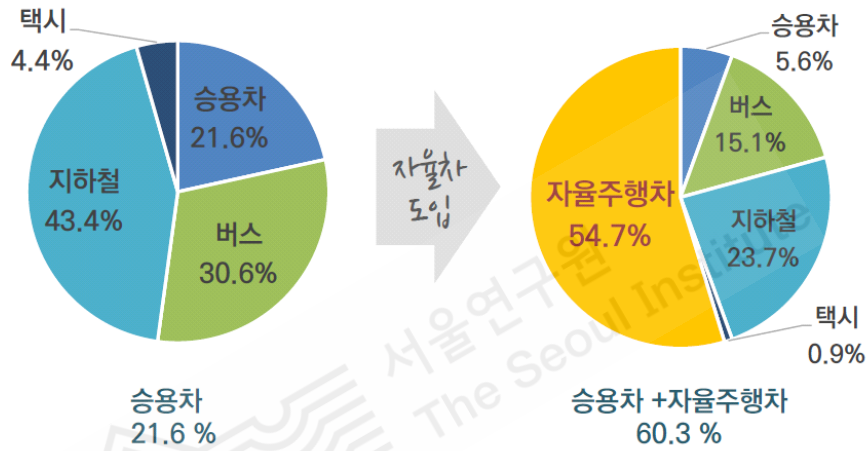
65% 이상의 시민이 대중교통을 이용하고 있는 서울에서는, 대중교통 이용자의 승용차 이용 전환도 크게 발생할 것으로 예상된다. 2장에서 제시한 설문조사 결과를 분석한 결과, 자율주행 승용차 도입 시 서울 내부통행자¹⁵⁾의 약 54.7%가 자율주행 승용차를 이용할 것이라고 응답하였다. 이를 기존에 이용하던 수단별로 구체적으로 살펴보면, 승용차 이용자 중에서는 약 74.2%(112명)가 자율주행 자동차로 전환되었으며, 버스와 지하철 이용자 중에서는 각각 50.5%(108명), 45.4%(138명)가 자율주행 승용차로 전환하는 것으로 나타났다. 즉, 출근 시 대중교통을 이용하던 시민의 절반 정도가 자율주행 승용차로 전환할 수 있다는 것으로, 향후 도로를 이용하는 승용차 교통수요가 크게 증가할 수 있음을 나타낸다.

15) 서울에서 출발해서 서울에서 도착하는 통행을 하는 사람

[표 3-1] 출근 시 자율주행 자동차로의 전환 여부(서울 내부통행자)

(단위: 명, %, %p)

구분		소계	승용차	버스	지하철	택시	자율주행 자동차
현재 (A)	응답자 수	700	151	214	304	31	-
	비율	100.0%	21.6%	30.6%	43.4%	4.4%	-
자율주행 도입 (B)	응답자 수	700	39	106	166	6	383
	비율	100.0%	5.6%	15.1%	23.7%	0.9%	54.7%
전환량(A-B)	응답자 수	-	112	108	138	25	-
	비율	-	16.0%p	15.4%p	19.7%p	3.6%p	-54.7%p



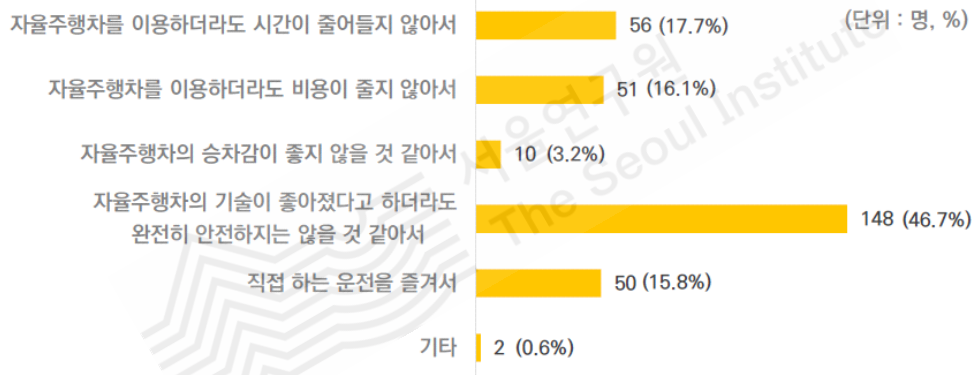
[그림 3-2] 출근 시 자율주행 승용차로의 전환 여부(서울 내부통행자 700명 기준)

한편 기존 대중교통 이용자 중 자율주행 승용차로 수단을 전환하지 않고 대중교통을 계속 이용할 것이라고 한 응답자에 대해 그 이유를 조사한 결과, 자율주행 자동차 이용 시에도 시간 또는 비용이 줄어들지 않아서라고 응답한 비율은 각각 18.4%, 16.5%로 나타났다. 반면에 자율주행 기술의 안전성에 대한 우려로 전환하지 않겠다고 응답한 비율은 44.5%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 자율주행 자동차로 전환하지 않고 계속 기존의 유인 승용차를 이용할 것이라는 응답자의 64.1% 역시 자율주행 자동차에 대한 안전상의 우려 때문인 것으로 나타났다. 이는 현재 시점에서 자율주행 기술에 대한 일반 시민들의 불안감을 나타냄과 동시에, 향후 자율주행 기술이 고도화되어 안전성에 대한 우려가 해소될 경우 더 많은 사람들이 자율주행 자동차로 전환될 수 있음을 의미한다고 해석할 수 있다.

[표 3-2] 기존 교통수단 이용을 그대로 유지하려는 이유(서울 내부통행자)

(단위: 명, %)

구분	소계		승용차		버스+지하철		택시	
	응답자 수	비율	응답자 수	비율	응답자 수	비율	응답자 수	비율
계	317	100.0%	39	100.0%	272	100.0%	6	100.0%
자율주행차를 이용하더라도 시간이 줄어들지 않아서	56	17.7%	5	12.8%	50	18.4%	1	16.7%
자율주행차를 이용하더라도 비용이 줄지 않아서	51	16.1%	5	12.8%	45	16.5%	1	16.7%
자율주행차의 승차감이 좋지 않을 것 같아서	10	3.2%	3	7.7%	5	1.8%	2	33.3%
자율주행차 기술이 좋아졌다고 하더라도 완전히 안전하지 않을 것 같아서	148	46.7%	25	64.1%	121	44.5%	2	33.3%
직접 하는 운전 즐거워서	50	15.8%	1	2.6%	49	18.0%	0	0.0%
기타	2	0.6%	0	0.0%	2	0.7%	0	0.0%



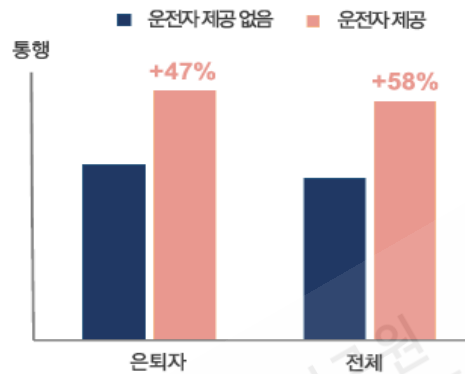
[그림 3-3] 기존 교통수단 이용을 그대로 유지하려는 이유(서울 내부통행자)

3) 자율주행으로 인한 추가 통행 발생

2018년 Harb 등은 자율주행 시대의 통행행태 변화에 대한 구체적인 사회실험 결과를 발표하였다.¹⁶⁾ 이 연구에서는 샌프란시스코 지역의 다양한 특성을 갖는 13가구를 선정하고, 자율주행 환경을 구현하기 위해 각 가정에 운전자(기사) 서비스를 1주일 동

¹⁶⁾ Harb et al., 2018, Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: Estimating travel behavior implications via a naturalistic experiment, *Transportation*.

안 무료로 제공하였다. 무료 운전기사가 제공되기 전후와 제공된 시기의 통행 특성을 비교한 결과, 조사대상 가구의 평균 통행 횟수가 운전기사 제공 시 약 58% 증가하는 것으로 나타났다. 특히 오후 6시 이후 저녁 시간 통행과 20마일(32.2km) 이상의 장거리 통행이 88~91% 수준으로 크게 증가하였다. 자녀가 있는 부모의 경우 운전자(자율주행 자동차)에게 자녀의 통행을 맡기고 다른 활동을 위한 통행을 발생시키는 특성이 나타났으며, 전체적인 실험군의 통행거리가 평균 83% 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 자율주행은 기존에 발생하지 않았던 새로운 통행수요를 유발할 수 있다.



자료: Harb et al., 2018, Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: Estimating travel behavior implications via a naturalistic experiment, Transportation.

[그림 3-4] 운전자 서비스 제공 시 이동횟수 변화

본 연구의 설문조사를 통해서도 자율주행 도입으로 서울에서도 추가적인 통행이 발생할 수 있음을 도출할 수 있었다. 자율주행 이용 시 통행을 더 할 의향이 있는지에 대해 조사한 결과, 서울시민 700명 중 약 46.4%가 '더 많은 통행을 할 것'이라고 응답하였으며, 이 중 92.0%는 주중과 주말 모두 추가로 통행하겠다고 응답하였다. 주중과 주말에 추가 통행 발생 예상 빈도는 각각 3.63회와 1.91회로 응답하였는데, 이와 같은 추가 통행 발생은 향후 도로 혼잡을 야기하고 통행시간을 증가시킬 것으로 예상되므로 대책 마련이 필요한 것으로 나타났다.

[표 3-3] 자율주행 자동차 이용 시 추가 통행 의향(서울 내부통행자)

구분		응답자 수	비율
전체 응답자		700	100% (-)
추가통행 발생	소계	325	46.4% (100%)
	주중만	11	1.6% (3.4%)
	주말만	15	2.1% (4.6%)
	주중, 주말 모두	299	42.7% (92.0%)

주: () 안의 숫자는 추가통행 발생자 325명 중 차지하는 비율임

[표 3-4] 자율주행차 이용 시 추가 통행 빈도(서울 내부통행자)

구분	주중	주말
횟수	3.63회	1.91회

2_자율주행과 서울의 광역교통 변화

1) 자율주행으로 인한 통행시간가치 감소

통행시간가치란 통행자가 1단위의 통행시간을 단축하기 위해 지불하고자 하는 비용(Willingness to Pay, WTP)의 금전적 가치를 의미한다. 일반적으로 통행시간가치는 업무통행 시간가치와 비업무통행 시간가치로 구분할 수 있는데, 업무통행에서 통행시간 절약은 업무시간 증가와 생산활동을 위한 시간의 증대를 의미하며, 비업무통행에서의 통행시간 절약은 여가활동을 위한 시간의 증대를 의미한다.¹⁷⁾ 서울시 예비타당성 조사 사업 등에 활용하는 수도권 교통수단별 통행시간가치는, 「여객 기·종점통행량(O/D) 현행화 공동사업」 사업 수행 시 산출하고 있으며 2019년 기준 수단별 통행시간가치는 [표 3-5]와 같다.

17) 이승훈 외, 2021, 예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도부문 연구, KDI 공공투자관리센터, p.288 내용 발췌.

[표 3-5] 수도권 수단별 평균 통행시간가치(2019년 기준)

구분	승용차		버스		화물차		철도(1인당)		
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	
재차인원 (인)	0.17	1.07	0.13	15.60	1.00	0.00	0.02	0.98	
시간가치 (원)	29,171	12,485	24,381	1인	6,418	21,660	0	29,171	6,447
			29,171	13인					
시간가치 (원/대·시)	5,064	13,314	28,052	100,143	21,660	0	583	6,318	
평균시간가치 (원/대)	18,378		128,194		21,660		6,901		

자료: 서울시·인천시·경기도, 2020.12, 2020년도 수도권 여객 기·종점통행량(O/D) 현행화 공동사업.

새로운 교통수단인 자율주행 자동차의 도입은 기존의 통행시간가치를 변화시킬 것으로 예상된다. 자율주행의 시간가치를 한계임금률, 한계대체률법 개념으로 추정하는 교통수단의 시간가치와 절대적으로 비교하기에는 한계가 있지만, 국내외 많은 연구에서는 자율주행 자동차의 시간가치가 전통적인 승용차의 시간가치에 비해 약 20~30% 정도 감소할 것으로 추정하고 있다. 2018년 Steck의 연구([표 3-6] 참고)에서 자율주행 자동차의 통행시간가치를 산정한 연구결과를 살펴보면 적용한 모형의 종류와 상관 없이 유인차에 비해 자율주행 자동차의 시간가치가 약 30% 낮아지는 것을 알 수 있다. 이렇게 감소된 시간가치는 기존 대중교통의 통행시간가치와 유사하게 된다. 통행시간가치의 감소는 통행시간 또는 통행거리의 증가를 유발할 수 있다. 통행자가 1시간 동안 직접 운전하며 이동할 때의 시간가치를 10,000원이라고 한다면, 같은 시간 동안 자율주행 자동차로 이동할 경우 시간가치는 30% 감소한 7,000원으로 인지하는 것이다. 통행자가 원래 지불하려고 했던 10,000원의 시간가치를 고려하면, 자율주행차를 이용할 때 3,000원만큼의 시간(또는 거리)을 더 이동할 수 있게 되는 것이다.

[표 3-6] 소득수준에 따른 교통수단별 통행시간가치 추정치 비교

(단위: 유로/시간)

모형 구분	소득 구분	통행시간가치					
		도보	자전거	대중교통	자율주행차	승용차 (직접운전)	공유 자율주행차
Mixed Logit	저소득	22.26	16.53	4.34	4.13	6.00	5.37
	중위소득	26.80	19.89	5.23	4.97	7.22	6.46
	고소득	46.74	34.70	9.12	8.66	12.60	11.27
Mixed Logit with Box-Cox transformation for time and cost	저소득	8.88	13.41	3.93	3.74	5.39	4.85
	중위소득	10.88	16.44	4.81	4.59	6.60	5.94
	고소득	17.08	25.88	7.56	7.20	10.36	9.32

자료: F Steck, 2018, How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting, TRB Volume 2672, Issue 46.

2) 자율주행 시대의 주거지역 변화

자율주행으로 인해 낮아진 통행시간가치는 주거지역 선정에도 영향을 미칠 수 있다. 일반적으로 통행시간의 가치가 낮아지면 개인들은 시간이 오래 걸리는 장거리 통행에 대한 수용성이 높아지기 때문에, 자율주행 시대의 주거지역은 도시 중심지로부터 더 멀리 떨어질 수 있다. Milakis 등은 최근 연구¹⁸⁾에서 자율주행의 영향으로 더 넓고 저렴한 주거지를 선호하는 사람들이 도시 외곽으로 이동할 수 있고, 장거리를 이동하는 통행시간은 수면이나 휴식을 포함한 다양한 활동을 통해 활용할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 반면, 도심 고밀도 지역에서 교통혼잡이 완화되고 주차공간 확보가 용이해지면, 자율주행 기반의 공유교통을 활용하는 사람들은 오히려 도심 중심지에 가깝게 이동하는 경우도 발생할 수 있다는 연구 결과¹⁹⁾도 제기되고 있다.

Kim 등은 2020년 연구²⁰⁾에서 미국 조지아주 주민들을 대상으로 2017~2018년 동안 총 3,106건의 광범위한 설문조사를 수행하여 자율주행 자동차가 도입되었을 때의

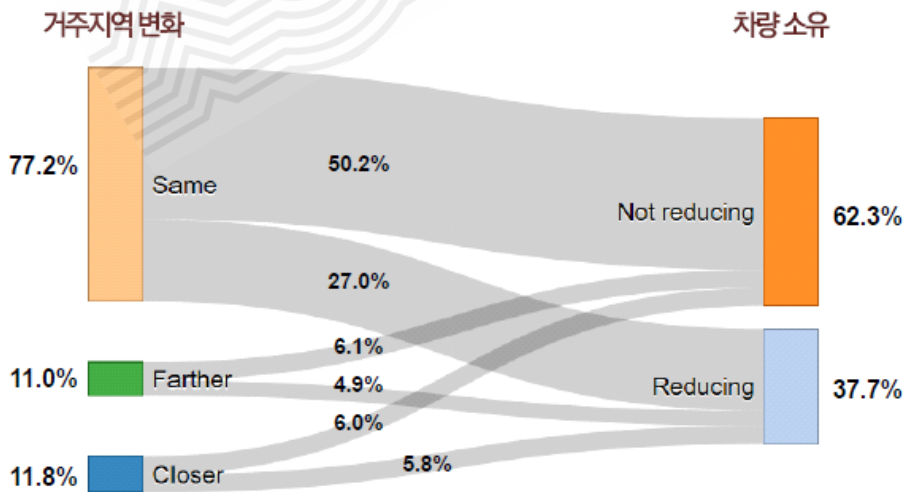
18) Milakis et al., 2018, Implications of automated vehicles for accessibility and location choices: Evidence from an expert-based experiment, *Journal of Transport Geography*.

19) Duarte and Ratti, 2018, The Impact of Autonomous Vehicles on Cities: A Review, *Journal of Urban Technology*.

20) Kim et al., 2020, Will autonomous vehicles change residential location and vehicle ownership? Glimpses from Georgia, *Transportation Research Part D*.

자동차 보유대수와 주거지역의 변화 등을 장기적인 관점에서 도출하였다. 분석 결과, 응답자의 77.2%가 주거지 위치를 바꾸지 않고 62.3%의 응답자는 차량 보유대수를 줄이지 않겠다고 응답하였다. 주거지를 현재 거주지보다 도시 중심지에서 더 멀리 이동하겠다는 응답자는 11.0%였으며, 가까운 곳으로 이동하겠다는 응답자는 11.8%로 나타났다. 이 연구의 저자들은 주거지 이동이나 차량 보유대수 등이 예상보다 변화가 적은 것으로 나타난 결과에 대해, 장기적 관점의 결정이라는 점과 자율주행 자동차의 장점에 대한 구체적 확신의 어려움 등을 원인으로 제시하였다. 한편, 자율주행으로 인한 주거지 또는 자동차 보유대수의 변동은 연령이 높거나 고소득층인 경우 크지 않은 것으로 나타났으며, 반대로 연령이 낮거나 저소득층인 경우에는 그 변동 폭이 큰 것으로 나타났다.

외국의 경우와 비교하여 우리나라, 특히 서울의 주거지 입지 선정은 주거와 투자를 동시에 고려하는 특성을 가지고 있다. 또한 소득, 교통, 교육, 문화, 직장 위치 등 다양한 요소의 영향을 받기 때문에 주거지 선정 시 자율주행이 끼치는 직접적인 영향을 전망하기는 어려운 면이 있다. 하지만, 자율주행의 상용화 시기가 10년 이상 소요되어 변화에 민감한 세대의 영향이 더욱 커지고 전반적인 인구 감소가 지속될 경우, 자율주행은 향후 서울 시민의 주거지 선택에 영향을 미칠 것으로 판단되므로 지속적으로 관심을 갖고 지켜봐야 할 주제로 생각된다.



자료: Kim et al., 2020, Will autonomous vehicles change residential location and vehicle ownership? Glimpses from Georgia, Transportation Research Part D. 내용 재구성

[그림 3-5] 자율주행 도입 시 거주지역 및 차량 소유 변화(장기간)

3) 자율주행으로 인한 서울의 광역통행 증가

2020년 기준 수도권 여객 기종점통행량(OD) 조사 연구에서 분석된 결과를 살펴보면 경기·인천 지역에서 서울로 출근하는 통행 비율은 전체의 26.1%를 차지하고 있으며 ([표 3-7] 참조), 서울 도심의 한양도성(녹색교통진흥지역) 진·출입차량 관리시스템 데이터 분석 결과에서도 약 23%(주중 전일 기준)의 차량이 경기·인천을 거주지로 하고 있는 것으로 나타났다([표 3-8] 참조). 이처럼 현재에도 서울의 도로를 이용하는 차량의 약 25%는 경기·인천 등에서 서울로 진입한 광역통행 차량이다. 향후 자율주행 시대에는 통행시간가치 감소로 장거리 통행에 대한 수용성이 높아지게 되어 서울의 광역통행은 증가할 것으로 예상할 수 있다. 또한, 자율주행의 영향으로 시민의 주거지가 서울 외곽으로 이전하거나 서울로 통행하는 공간적 범위가 확대되는 경우, 서울의 광역통행은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

[표 3-7] 서울로 도착하는 출근통행 분포(2020년)

(단위: 통행/일, %)

구분	통행	비율
소계	5,320,613	100.0%
서울→서울	3,919,414	73.7%
경기→서울	1,188,128	22.3%
인천→서울	203,202	3.8%
외곽→서울	9,869	0.2%

자료: 서울시·인천시·경기도, 2020.12., 2020년도 수도권 여객 기·종점통행량(O/D) 현행화 공동사업

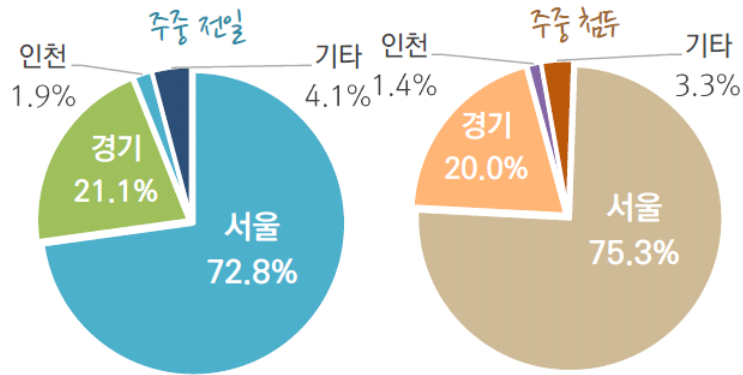
[표 3-8] 한양도성 진·출입 통행 차량 등록지

(단위: 통행/일, %)

구분	종류	주중 평균		주말 평균	
		통행	비율	통행	비율
전일	소계	405,501	100.0%	285,931	100.0%
	서울	295,215	72.8%	207,379	72.5%
	경기	85,673	21.1%	57,742	20.2%
	인천	7,864	1.9%	6,255	2.2%
	기타	16,749	4.1%	14,555	5.1%
첨두 (오전 7~9시)	소계	62,186	100.0%	23,241	100.0%
	서울	46,809	75.3%	16,901	72.7%
	경기	12,406	20.0%	5,007	21.5%
	인천	893	1.4%	494	2.1%
	기타	2,077	3.3%	840	3.6%

자료: 서울시, 자동차통행관리시스템 차량 진·출입 자료, 2020.5.25.~31.

주: 녹색교통진흥지역(한양도성)을 진·출입하는 통행차량의 등록지를 집계함. 차량의 중복통행을 고려하지 않음



자료: 서울시, 자동차통행관리시스템 차량 진·출입 자료, 2020.5.25.~31.

[그림 3-6] 한양도성 진·출입 통행 차량 등록지

증가하는 광역 승용차 교통량을 추정하기 위해 경기·인천에서 서울로 출근하는 사람을 대상으로 자율주행 자동차 도입 시 이용 수단 변화에 대한 설문조사를 진행하였다. 다만, 이 조사에서는 주거지 이전 등으로 인한 새로운 교통 수요 발생은 고려하지 않고 대중교통 이용수요에서 승용차 이용수요로 전환되는 추세만을 조사하였음을 밝혀둔다. 조사결과 자율주행 자동차가 도입되는 경우 전체 응답자 700명 중 58.7%인 411명이 자율주행 자동차를 이용하여 통행할 것이라고 응답하였다. 수단별 전환 정도를 살펴보면 승용차 이용자의 약 76.4%(194명)가, 버스 이용자의 45.0%(77명)가, 지하철 이용자의 47.7%(116명)가 자율주행 자동차로 전환할 것이라고 응답하여, 서울 내부통행자와 마찬가지로 대중교통 이용자의 절반 정도가 자율주행 자동차로 전환되는 것으로 나타났다.

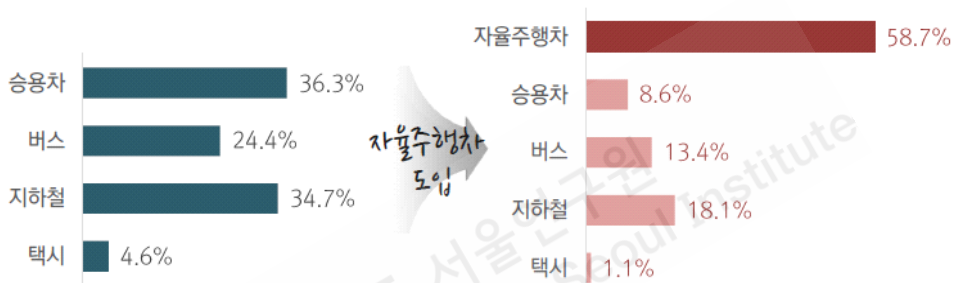
한편 자율주행 자동차로 전환하는 이유에 대해서는 '차량에서 휴식을 취할 수 있어서'라는 응답이 46.5%로 가장 많았으며, '차량에서 개인적인 업무가 가능하기 때문이라'는 응답도 22.9%로 나타났다. 시간이나 비용이 줄어들 것으로 기대하는 응답자는 각각 8.8%, 5.4%에 그쳤다. 상대적으로 통행시간이 긴 광역 통근 통행에서 사람들은 자율주행 자동차를 이용하여 휴식을 취하거나 개인 업무를 하는 것을 장점으로 인식하고 있음을 알 수 있었다.

[표 3-9] 출근 시 자율주행 자동차로의 전환 여부(경기·인천 → 서울 광역통행자)

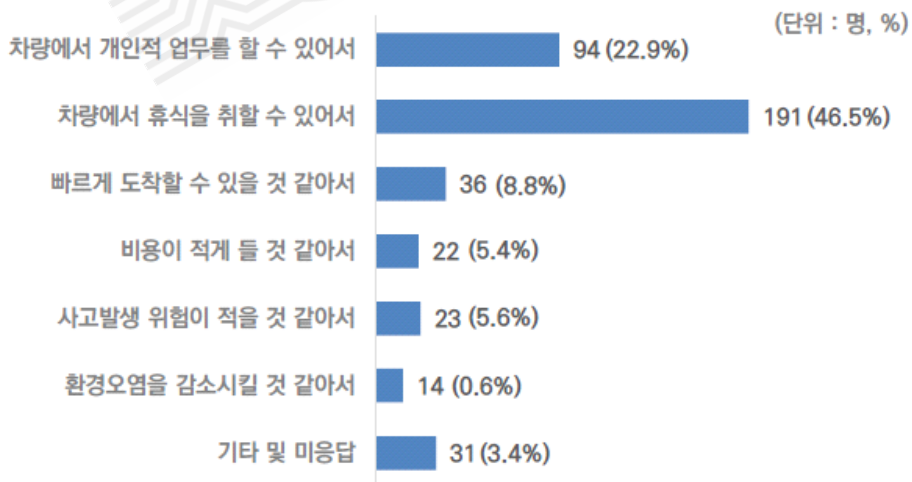
(단위: 명, %, %p)

구분		소계	승용차	버스	지하철	택시	자율주행 승용차
현재 (A)	응답자 수	700	254	171	243	32	
	비율	100.0%	36.3%	24.4%	34.7%	4.6%	
자율주행 도입 (B)	응답자 수	700	60	94	127	8	411
	비율	100.0%	8.6%	13.4%	18.1%	1.1%	58.7%
전환량 (A-B)	응답자 수		194	77	116	24	
	비율		27.7%p	11.0%p	16.6%p	3.4%p	-58.7%p

경기/인천 ⇒ 서울 통행



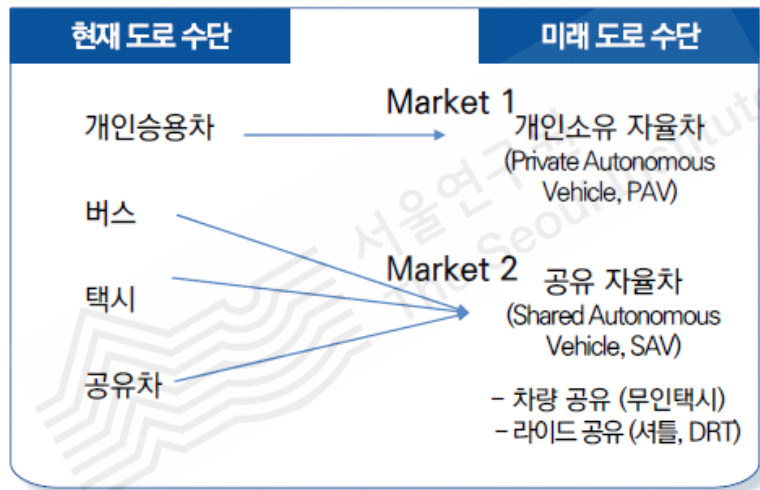
[그림 3-7] 출근 시 자율주행 승용차로의 전환 여부(경기·인천 → 서울 광역통행자)



[그림 3-8] 출근 시 자율주행 승용차를 이용하려는 이유(경기·인천 → 서울 광역통행자)

3_자율주행으로 인한 도시의 교통체계 변화

자율주행 자동차의 도입은 단순히 운전의 주체만 사람에서 자동차로 변경되는 것을 의미하는 것이 아니라 자동차를 소유하고 이용하는 행태를 변화시키고 궁극적으로 도시의 전반적인 교통체계를 변화시킬 것으로 전망된다. 2018년에 발간된 「The End of Driving²¹⁾」에서는 현재 개인승용차, 버스, 택시, 공유차 등으로 나누어져 있는 도시의 교통수단이 미래에는 소유 주체에 따라 개인 자율주행 자동차(Market 1)와 공유 자율주행 자동차(Market 2)로 구분될 것으로 전망하고 있다. 이때 공유 자율주행 자동차는 무인택시와 같이 차량을 공유하는 차량공유 형태와 셔틀버스, DRT와 같이 다른 사람과 함께 이용하며 탑승(라이드)을 공유하는 형태로 구분할 수 있다.



자료: Grush and Niles, 2018, The End of Driving: Transportation systems and public policy planning for autonomous vehicles, Elsevier(내용 재구성).

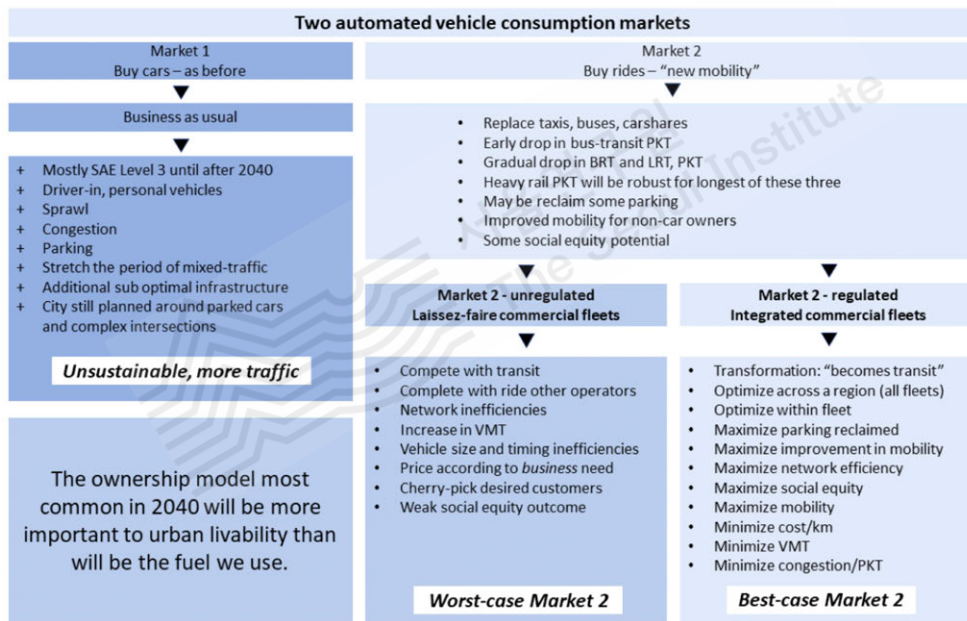
[그림 3-9] 미래 도로 교통수단 변화 형태

자율주행 시대의 도로교통 수단이 2개의 시장(Market)으로 양분화되었을 때, 도시교통체계는 어떤 시장을 중심으로 발전하는가에 따라 크게 달라질 수 있으며, 그 결과는 [그림 3-10]과 같이 제시할 수 있다. 개인소유의 교통수단(Market 1)을 중심으로

21) Grush and Niles, 2018, The End of Driving: Transportation systems and public policy planning for autonomous vehicles, Elsevier.

도시교통체계가 발전하게 되는 경우에는 현재와 마찬가지로 극심한 혼잡을 경험하여 지속가능성을 잃게 될 가능성이 높다. 반면 공유형 교통수단(Market 2)을 중심으로 교통체계가 재편되는 도시에서는 교통체계를 최적화하여 도시의 이동성을 극대화 할 수 있다. 이를 위해서는 새로운 교통수단과 전통적인 수단 간의 경쟁과 갈등에 대한 공공의 적절한 규제와 시민의 인식전환이 필요하며, 도시의 특성을 고려한 적절한 규모와 형태의 신규 교통수단을 형성하여 비효율의 발생을 방지해야 한다.

교통수요가 높고 혼잡이 극심한 대도시 서울의 특성과 자율주행 자동차 도입 시 기존 교통수단에서 자율주행차로 전환하려는 이용자의 성향을 고려한다면, 향후 서울의 교통정책은 대중교통과 통합된 자율주행 공유교통을 지원할 수 있어야 한다. 4장에서는 이러한 도시교통체계의 전환을 목표로 자율주행 시대를 준비하는 서울의 대응방향을 제안하고자 한다.



자료: Grush and Niles, 2018, The End of Driving: Transportation systems and public policy planning for autonomous vehicles, Elsevier, Figure 28(p.74).

[그림 3-10] 미래 도시교통체계의 변화 시나리오

04

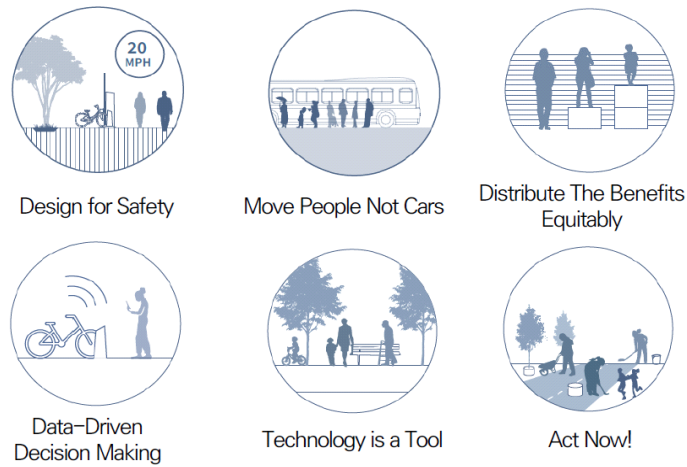
자율주행 시대를 준비하는 서울의 대응방향



- 1_[대응방향 1] 서울의 도로공간 변화
- 2_[대응방향 2] 서울의 주차공간 변화
- 3_[대응방향 3] 자율주행의 혜택을 함께 누리는 서울의 도시교통 개편
- 4_[대응방향 4] 자율주행 시대의 도시교통 운영방안 마련
- 5_[대응방향 5] 도시교통-도시공간 통합관리체계 구축

04. 자율주행 시대를 준비하는 서울의 대응방향

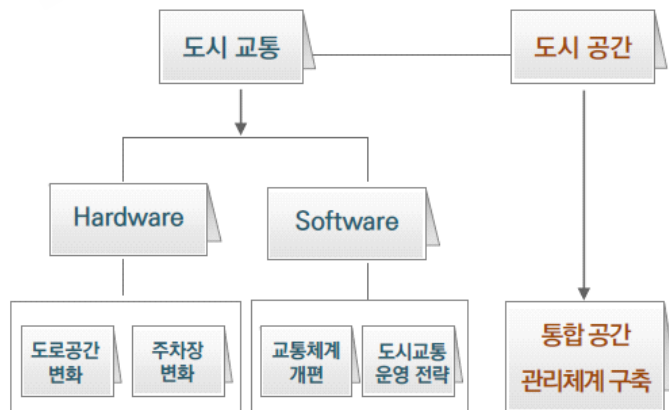
자율주행 시대를 준비하며 도시가 나아가야 할 기본적인 방향에 대해서는 기존의 많은 연구에서 제안하고 있다. 자율주행 시대의 도시의 이상적인 모습을 보여주는 대표적 사례는 2017년 NACTO(National Association of City Transportation Officials)에서 발간한 ‘자율주행 도시계획의 청사진(Blueprint for Autonomous Urbanism)’이다. NACTO는 해당 보고서에서 자율주행 시대의 도시가 갖추어야 할 6가지 기본 원칙을 다음과 같이 제시하고 있다. 자율주행 시대의 도시는 무엇보다 사람의 안전을 우선하여야 하며(Design for Safety), 대중교통, 자전거, 보행 중심의 교통체계를 통해 자동차가 아닌 사람을 위한 이동체계를 갖추어야 한다(Move People Not Cars). 첨단기술로 인해 소외되는 계층이 없어야 하며(Distribute The Benefits Equitably), 신기술이 제공하는 데이터를 활용하는 최적의 의사결정 체계도 갖추어야 한다(Data-Driven Decision Making). 또한 자율주행과 같은 첨단 기술이 목적이 아닌 사람을 위한 도구임을 인지하여야 하며(Technology is a Tool), 우리가 원하는 미래 도시 건설을 위한 선제적 대응이 필요하다(Act Now). 이러한 원칙을 바탕으로 NACTO는 자율주행 시대를 위한 도시의 역할, 도시교통 정책 방향, 도로공간의 설계 가이드라인 등을 제안하였다.



자료: NACTO, 2017, Blueprint for Autonomous Urbanism, 2nd Edition, pp.16~17.

[그림 4-1] 자율주행 시대 도시 위한 기본 원칙

이와 같이 자율주행 시대 도시의 이상적 변화방향을 제안하는 연구는 많이 있으나 대부분 도시변화의 원론적 기준만을 제시하며 구체적인 실현방안을 제시하는 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 이번 장에서는 2장과 3장에서 도출한 서울의 교통 인프라와 통행행태 변화를 바탕으로, 자율주행 시대를 준비하는 서울의 구체적인 대응방향을 도시교통과 도시공간의 관점에서 제시하고자 한다. 먼저 도시교통 부문은 도로공간, 주차장 등 하드웨어적 측면과 교통체계와 도시교통 운영 등 소프트웨어적 측면으로 구분하여 대응방향을 제시하였다. 도시공간 부문에서는 도시교통의 변화와 함께 자율주행 시대에 고려가 필요한 토지이용, 도시계획, 건축계획 등을 반영한 통합 공간 관리체계를 제안하였다.



[그림 4-2] 자율주행 시대 서울시를 위한 대응방향

1_ [대응방향 1] 서울의 도로공간 변화

1) 전환가능 대상 도로 추정 및 진단

자율주행 기술을 통해 도로용량이 증가할 것이라는 연구 결과를 기반으로, 향후 자율주행 시대에는 도로 공간을 다른 용도로 전환할 수 있을 것이라는 기대감이 있다. 하지만 2장에서 제시한 바와 같이 신호교차로의 영향을 받는 도심 단속류 도로의 용량 증가 효과는 고속도로와 같은 연속류 도로와 비교할 때 크지 않으며, 도로의 용량이 증가하는 경우에도 3장에서 도출한 자율주행으로 인한 교통수요의 변화도 고려해야 한다. 특히 평균통행속도 20km/h 수준의 극심한 교통 혼잡을 겪고 있는 서울에서는, 자율주행으로 인한 도로 공간의 전환에 더욱 신중해야 한다. 따라서, 향후 자율주행 시대가 되었을 때, 어느 정도의 도로를 전환의 대상으로 삼을 수 있는지 그 규모와 공간적 분포를 가늠해 보는 일은 우선적으로 필요하다고 할 수 있다.

이 연구에서는 도로 규모를 축소하였을 때에도 현재의 서비스 수준(V/C, 교통량과 용량 비)을 유지할 수 있는 도로의 최소 기준을 수리적 분석을 통해 산출하였으며, 추가적으로 GIS 분석을 통해 서울에서 전환 가능한 도로의 규모와 분포를 도출하였다. 수리적 모형 구축 시에는 자율주행으로 증가하는 도로용량 정도와 승용차 이용 증가로 인한 교통수요 증가, 신규 인프라 공급을 통한 교통수요의 분산(감소) 등을 종합적으로 고려하였다. 이 연구에서 자율주행 도입 시 축소가 가능한 도로를 산출하기 위해 적용한 수식은 다음과 같으며, 도로용량과 교통수요의 변화 정도에 따라 1개 차로 축소가 가능한 최소 편도 차로수를 산출하고 있다.

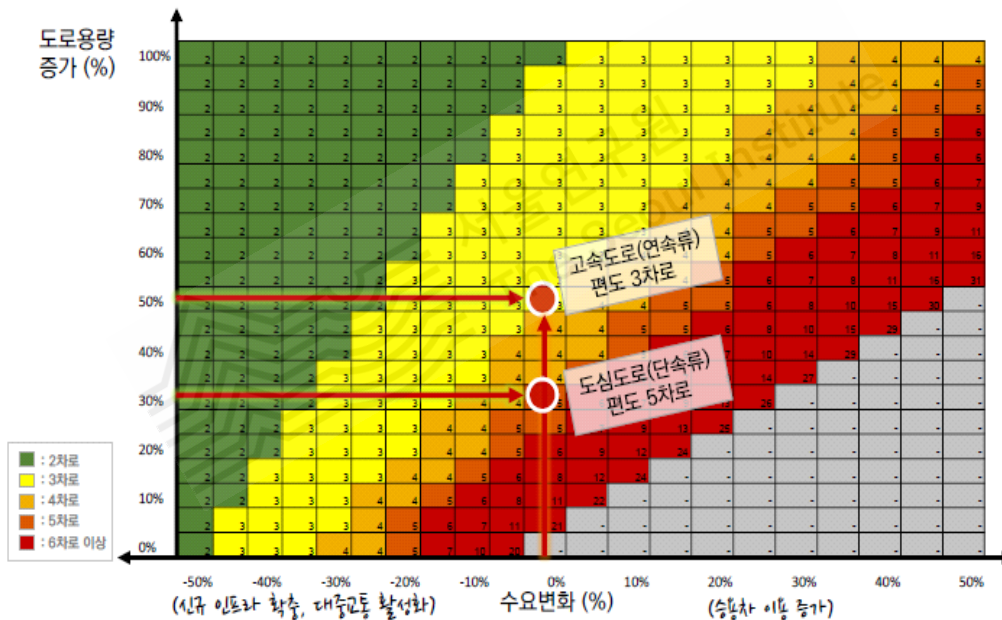
$$\frac{v}{c \times n} \geq \frac{v(1+b\%)}{c(1+a\%) \times (n-1)}$$

$$\therefore n \geq \frac{1}{1 - \left(\frac{1+a\%}{1+b\%}\right)}$$

단, a = 도로용량 변화 (0 ~ 100%)
 b = 교통수요 변화 (-50 ~ 50%)
 v = 해당도로의 교통수요
 c = 차로당 용량
 n = 차로수

위 수식을 적용하여 도출한 결과는 [그림 4-3]에서 제시하였다. 제시된 그래프에서 x축은 교통수요의 변화(-50 ~ 50%)를 y축은 자율주행으로 인한 도로용량의 증가(0~100%)를 나타내며, 그래프 안의 숫자는 각각의 경우에 1개 차로를 축소할 수 있는 편도차로의 최소기준을 나타낸다.

분석 결과를 기반으로 실제 축소가 가능한 도로의 규모를 결정하기 위해서는 자율주행으로 인한 도로의 용량증가와 교통수요의 변화 정도를 결정해야 한다. 2장에서 제시한 기존 연구 결과를 반영하여 연속류와 단속류 도로용량이 자율주행으로 인해 각각 50%, 30% 증가하는 경우를 가정하였으며, 보수적인 접근을 위해 교통수요의 변화는 없는 것²²⁾으로 가정하였다. 위와 같은 상황에서 1개 차로가 축소 가능한 도로의 최소기준을 산정하면 연속류 도로는 편도 3차로, 단속류 도로는 편도 5차로 이상인 경우 도로의 축소가 가능한 것으로 도출되었다.



[그림 4-3] 현재와 동일한 도로 서비스 수준 유지 가능한 차로수 산출

도출된 결과를 기반으로 서울시의 차로 감소 가능 도로 규모를 산출하기 위해 ITS국

22) 3장 통행행태 분석에서 제시된 바와 같이 향후 자율주행 시대에는 승용차 교통수요가 증가할 것으로 예상되기 때문에 축소 가능한 도로의 규모가 줄어들 수 있다. 따라서, 교통수요가 없는 경우를 우선 상정하여 축소 가능규모를 산정하고 교통수요 변화에 따른 영향을 후에 기술하였다.

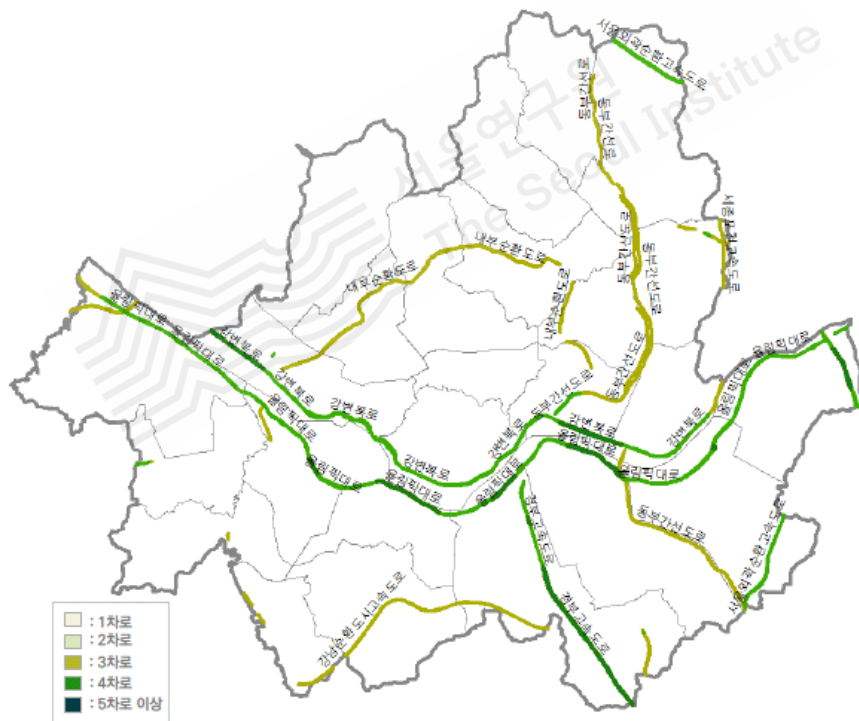
가정보센터의 2021년 표준노드링크 네트워크를 적용하여 GIS 분석을 수행하였다.²³⁾ 우선, 도시고속도로와 같은 연속류 도로의 차로수별 연장과 비율은 [표 4-1]과 같으며, 편도 3차로 이상 연속류 도로의 총 연장은 594.2km로 전체 연속류의 약 78.2%를 차지하는 것으로 나타났다. 편도 3차로 이상의 연속류 도로를 GIS상에서 표출한 분포는 [그림 4-4]와 같다.

[표 4-1] 서울시 연속류 도로 차로수별 비율(편도 기준)

(단위: km, %)

구분	소계	1차로	2차로	3차로	4차로	5차로 이상
연장	760.0	22.6	143.2	283.4	247.9	62.9
비율	100.0%	3.0%	18.8%	37.3%	32.6%	8.3%

자료: ITS국가정보센터, 2021.4., 표준노드링크.



자료: ITS국가정보센터, 2021.4., 표준노드링크.

[그림 4-4] 연속류 편도 차로수별 네트워크

23) 표준노드링크의 네트워크 기준으로 도로연장을 산출하는 경우 실제 서울 도로연장과 다소 다를 수 있음

분석 결과를 통해 현재와 동일한 서비스 수준을 유지하는 경우 자율주행 도입 후 대부분의 연속류 도로에서 1개 차로를 줄일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 연속류 도로에서 전환될 수 있는 공간은 형태가 좁은 선형이고, 연속류 도로는 주변 환경이 단절되어 있으며, 자동차 이외의 보행자, 자전거 등이 이용하지 않는다는 점을 고려할 때 전환 후 공간 활용에 상당한 제한이 있을 것으로 예상된다. 자율주행 인프라 구축과 관련된 국외사례를 살펴보면, 연속류 도로의 공간전환은 우선적으로 자율주행 자동차를 위한 전용공간으로 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있다. [그림 4-5]는 미국 미시간에서 추진 중인 자율주행 도로 CAVNUE의 개념도인데, 중앙 차로를 자율주행전용차로로 활용하는 계획을 보여주고 있다. 또한 극심한 혼잡으로 침두시 평균통행속도가 30km/h 이하로 낮아지는 서울의 연속류 도로의 서비스 수준을 고려하면, 연속류 도로의 공간 전환은 신중히 접근할 필요가 있는 것으로 판단된다.



자료: www.cavnue.com.

[그림 4-5] 미국 자율주행 전용차로 CAVNUE 프로젝트

한편 자율주행으로 인한 용량 증가 효과가 낮아 편도 5차로 이상 도로에서만 축소가 가능한 단속류 도로의 분석결과는 [표 4-2]와 같다. 차로수 축소가 가능한 단속류 도로의 총연장은 47.0km로 전체 단속류 도로의 0.9%만을 차지하는 것으로 나타났다.

공간전환이 가능한 구간 자체가 많지 않기 때문에 자율주행 도입 후에도 서울의 단속류 도로는 다른 용도로의 전환이 상당히 제한될 것으로 전망된다. 자율주행으로 도로의 용량이 30% 이상으로 증가하거나 교통수요가 감소하여 공간 전환 가능 구간을 편도 4차로 이상으로 확장하는 경우에도, 차로수 축소가 가능한 구간은 전체 단속류의 5.9%인 297.8km에 그치고 있다. 해당 도로 구간의 서울시 내 분포는 GIS를 이용하여 [그림 4-6]과 같이 도출할 수 있는데, 차로수 축소가 가능한 도로가 산발적으로 위치하고 있는 점도 공간 전환에 제한사항으로 작용할 것으로 예상된다. 단속류 도로의 일부 구간만 축소하는 경우 주변 도로 네트워크에 전반적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 특히 편도 5차로 이상의 단속류 도로의 경우 강남대로 등 지역 내 주요 간선 도로 역할을 하고 있기 때문에 공간 축소 시 해당 도로와 연결된 인접 도로의 교통혼잡 증가가 예상된다.

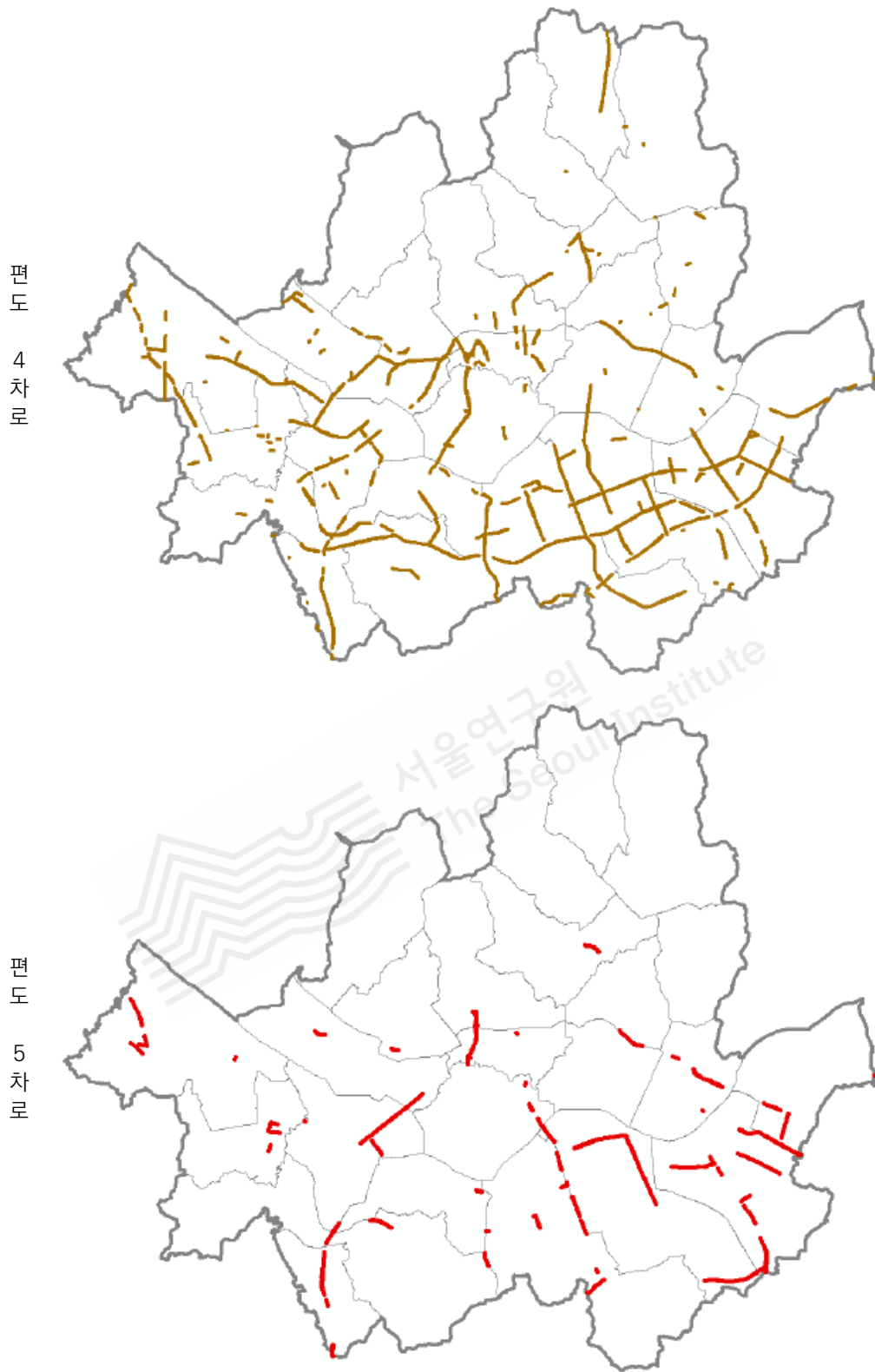
[표 4-2] 서울시 단속류 도로 차로수별 비율(편도 기준)

(단위: km, %)

구분	소계	1차로	2차로	3차로	4차로	5차로 이상
연장	4,974.9	2,693.7	1,262.5	721.0	250.8	47.0
비율	100.0%	54.1%	25.4%	14.5%	5.0%	0.9%

자료: ITS국가정보센터, 2021.4., 표준노드링크.

결론적으로 현재의 교통수요와 도로인프라에 대한 개선이 뒷받침되지 않는다면, 자율주행 시대가 되어도 서울의 도로 공간은 그대로 유지될 것으로 판단된다. 특히 자율주행으로 승용차 교통수요가 증가하게 된다면, 향후에도 현재와 같은 교통혼잡은 해소되지 않고 오히려 악화될 가능성도 있다. 이러한 분석결과는 자율주행에 대해 가지고 있는 기존의 기대와 다를 수 있다. 하지만, 신호 교차로의 영향을 받는 단속류 도로의 용량증대 효과가 예상보다 낮을 수 있다는 한계와 자율주행으로 인해 예상되는 교통수요의 증가, 현재 서울의 극심한 교통혼잡을 고려한다면 타당한 결론이라고 할 수 있다. 향후 자율주행 시대에 교통혼잡 해소, 도로공간 전환 등을 위해서는 자율주행을 위한 신규 인프라(지하전용 네트워크 등)를 구축하여 수요를 분산하고, 대중교통(공유 교통)을 활성화하여 승용차 수요를 감소시키는 등의 노력이 필요할 것이다.



자료: ITS국가정보센터, 2021.4., 표준노드링크.

[그림 4-6] 단속류 편도 차로수별 네트워크

2) 기존 도로의 공간구성 변화

앞에서 분석한 바와 같이 자율주행 도입으로 서울 도로의 공간 축소나 전환은 어려울 것으로 전망된다. 하지만 기존 도로의 공간과 운영 방식을 자율주행 자동차의 특성과 이용행태를 반영하여 개선한다면, 보다 효율적인 도로교통 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

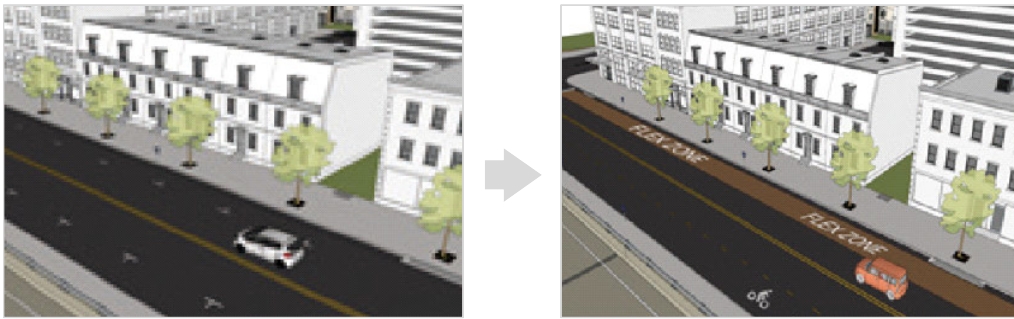
우선, 자율주행 시대의 도로는 이용자의 승하차로 발생하는 자율주행 자동차의 잦은 주정차에 대응할 수 있는 공간 확보가 필요하다. 자율주행 자동차는 무인 주차가 가능하기 때문에 자율주행 자동차의 이용자는 주차장까지 이동하지 않고 목적지 주변의 도로에서 하차하는 것을 선호할 것이다. 또한, 자율주행 자동차에 탑승할 때에도 주차장에서 미리 이동한 자율주행 자동차가 도로변에서 이용자를 기다렸다가 이용자를 태우게 될 것이다. 현재 교통수단인 택시의 승하차 행태와 유사하다고 할 수 있지만, 이용자를 탑승시키기 위해 기다리는 자율주행 자동차의 '대기' 행태가 도로변에서 더 많이 발생할 수 있으므로 주정차 공간에 대한 대비가 없다면 도로 혼잡은 극심해질 수 있다. 이러한 자율주행 이용행태를 고려한 주정차 공간으로 "Flex Zone"을 도입하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 원래 Flex Zone 개념은 다목적 도로의 가로변을 활용하는 것을 의미하였으나, 최근 자율주행 시대를 대비하면서 도로 공간을 이용자 입장에서 효율적으로 사용할 수 있도록 기능과 역할을 다양하게 배치하는 개념으로 재정립되고 있다. 보도와 연결하는 도로 구간은 자동차와 이용자(사람)의 활동이 연결되는 공간으로, 대중교통 승하차, 자전거와 퍼스널 모빌리티 주행구간, 배송 및 배달 활동 등 다양한 활동이 발생하는 공간이다. 이러한 구간에 Flex Zone을 도입하여 자율주행 승하차 공간을 마련하게 된다면 교통의 이동성을 확보하고 다른 활동과의 조화도 이룰 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 교통수요가 많은 대도시 서울에서는 모든 도로변에서 주정차를 위한 물리적 공간을 확보하는 것은 불가능하다고 할 수 있으므로, 이에 대한 운영적 대응 방안도 마련해야 한다.²⁴⁾

자율주행 시대의 Flex Zone 개념

Multi-Modal-Multi-Use가 가능한 자율주행차 통행으로 인한 잉여 도로용량 및 공간을 이용자 입장에서 효율적으로 사용 가능하도록 배치하는 것

자료: 박진우·최우철·김정화, 2022.4., 자율주행시대의 Flex Zone 도입과 입지 최적화 방안 연구: 수정된 MCLP 알고리즘 기반으로, 대한교통학회 제 86회 학술발표회.

24) 도로의 운영적 대응방안에 대해서는 [대응방향 4]자율주행 시대의 도시교통 운영방안 마련에서 제시할 예정임



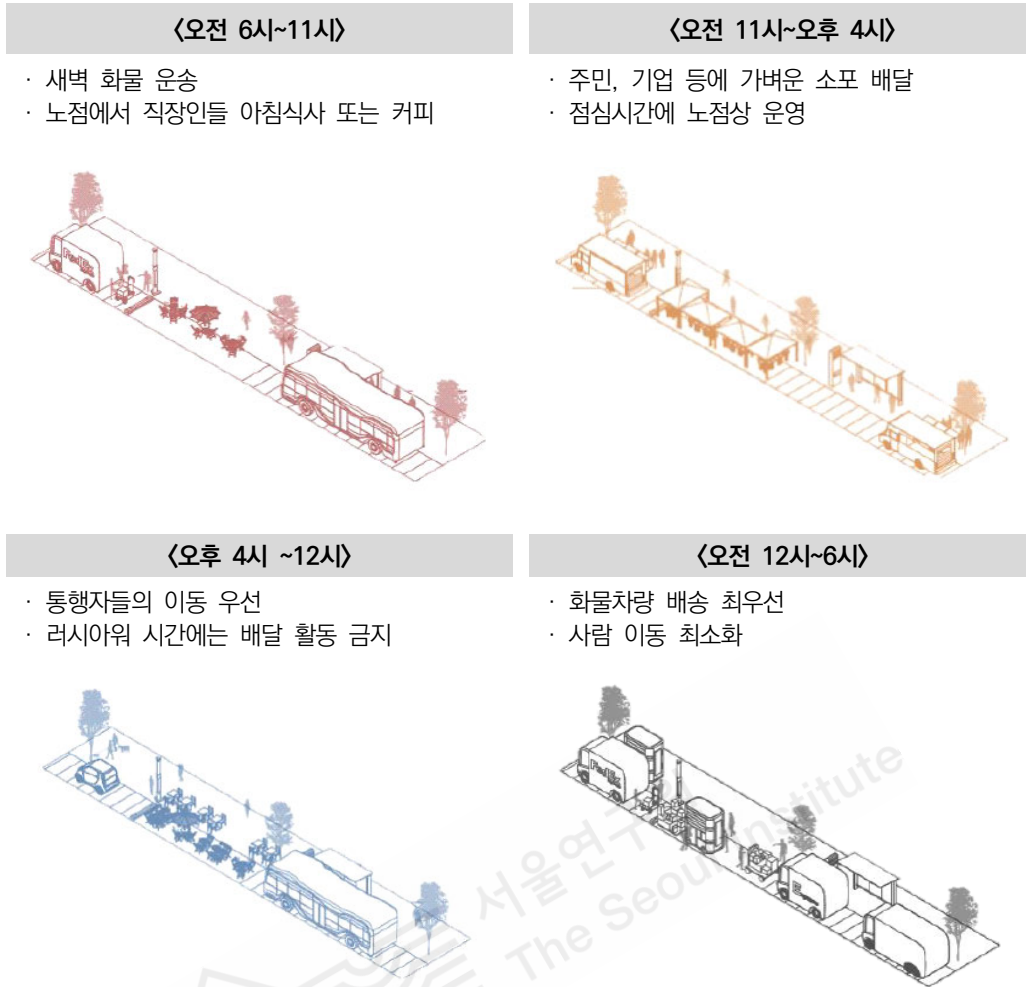
〈도로공간 변화 이전〉

〈도로공간 변화 이후〉

자료: 한국건설기술연구원 블로그, 2022.6.21., 자율주행시대 인프라 변화 방향
https://blog.naver.com/feel_kict/222782095127

[그림 4-7] 자율주행 변화에 따른 도시공간 재활용 사례(예: Flex Zone)

또한, Flex Zone의 개념을 시간적으로 확대하여 시간대에 따라 가변적으로 도로를 활용하는 방안도 구상할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 도로변에서 이루어지는 활동은 아주 다양하지만 시간대에 따라 집중되는 활동의 종류와 특성은 서로 다를 수 있다. 시간대에 따라 예상되는 주요 활동의 우선순위를 정하고 도로를 운영한다면 도로공간 활용의 효율성은 더욱 높아질 것이다. 이를 위해서는 도로변의 시간대별 수요와 주목적을 파악한 뒤, 용도에 따라 차량의 접근을 시간대별로 허가하는 식으로 운영하며, 가장 효율적인 운영을 위해 시간대별로 도로변 데이터를 수집하고 목록화하는 작업은 상시적으로 이루어져야 할 것이다. NACTO의 자율주행 도시의 청사진에서도 이와 같은 가변적 도로변 운영사례를 [그림 4-8]과 같이 제시하고 있다. 이른 새벽에는 화물 배송의 공간으로 활용된 도로공간은 오전 7시 30분 이후 출근길 직장인들이 아침 식사를 하는 장소로 활용될 수 있다. 도시의 활동이 활발해지는 오전 11시 경에는 주민들에게 소포와 우편 배달을 위한 공간으로 활용되며, 이후 점심시간에는 다시 노점상으로 운영한다. 퇴근 시간 전까지는 가벼운 배달 활동을 수행하던 공간은 퇴근 침투 시간에 모든 배달 활동이 금지되고 통행자의 이동을 최우선적으로 처리하게 된다. 자정 이후에는 사람의 이동은 최소화하고 화물차량 배송을 우선적으로 처리하는 공간으로 활용될 수 있다. 이처럼 도로 공간을 해당 시간대에 필요한 목적에 부합하는 기능을 부여하고 다른 활동은 제도적으로 제약하게 된다면, 해당 도로의 공간자원을 가장 효율적으로 활용할 수 있을 것이다.



자료: NACTO, 2017, Blueprint for Autonomous Urbanism, 2nd Edition, pp.120~121.

[그림 4-8] 시간대별 도로변 가변 운영방안 예시

세 번째로, 자율주행 시대의 대중교통 특성을 고려한 시설물 설치 기준을 마련해야 한다. 최근 스마트쉘터(Smart Shelter) 등 대중교통의 서비스 수준을 향상시키기 위한 다양한 대중교통 시설물이 도로에 설치되고 있다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 자율주행 시대의 대중교통은 공유형 대중교통으로 발전할 것이며 차량의 소형화와 노선의 가변화가 진행될 것이다. 이러한 자율주행 시대 대중교통의 특성을 반영하면, 미래의 대중교통 시설도 도로의 위계에 따라 구분하여 설치되어야 한다. 도심, 상업지역, 문화·레저지역 등 대중교통 수요가 많고 고정형 노선에 가까운 승하차 지점 선정이 가능한 간선도로에서는 현재와 같이 대중교통의 서비스 수준을 높이는 시설물을 설치하는 것이 필요하다. 하지만, 비정형적인 노선과 다양한 승하차 지점이 예상되는

지선도로에서는 고정식 대중교통 시설의 설치를 지양하고 어디서든 승하차가 가능하도록 충분한 공간을 확보해야 할 것이다. 확보된 공간은 대중교통의 정류장 기능 뿐 아니라 개인교통수단의 주정차, 물류 조업 등의 활동도 수용할 수 있도록 하여 도시공간 자원의 효율성을 향상시킬 수 있어야 할 것이다.



〈간선: 대중교통 우선 정류장〉



〈지선: 다목적 기능으로 변화〉

자료: 내손안의서울, 2021.09.03.

자료: 서울시, 2021, 지속가능한 서울시 스마트 모빌리티 체계 구축방안 연구, p.125.

[그림 4-9] 위계에 따른 정류장 활용 변화

자율주행 시대를 준비하는 서울 도로의 마지막 방안으로, 자율주행 환경의 불확실성을 최소화할 수 있는 도로환경 정비를 제안한다. 자율주행의 기술 수준은 지속적으로 높아지고 있으나 안전성을 확보하고 발생할 수 있는 운영오류를 방지하기 위해서는 안정적인 도로환경의 구축이 필수적이라 할 수 있다. 특히, 다양한 센서를 통해 주행에 필요한 실시간 데이터를 수집하는 자율주행 자동차의 특성을 고려하면 센서가 감지하는 모든 3차원 공간의 환경이 안정적이고 예측 가능하도록 마련되어야 할 것이다. 이를 위해서는 신호등, 도로표지, 도로전광판, 교통안전표지 등 도로에 설치되는 각종 시설물의 기준과 형태에 대한 조정이 필요하며, 특히 도로의 불확실성을 높일 수 있는 가로수 등 조경 환경에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 자율주행 센서 범위 내에서 불규칙적으로 자라나고 움직이는 수목과 낙엽으로 인해 자율주행 센서가 오작동할 가능성도 있기 때문이다. 다만, [그림 4-10]의 예시에 나타난 바와 같이 이러한 도로 환경의 조성은 도시의 미관 저해, 인간성 상실 등과 연계될 수 있어 주의가 필요하다. 향후 자율주행의 기술적 한계와 제공하는 혜택, 바람직한 도시환경 구축에 대한 사회적 공감대가 형성되어야 할 것이다.



[그림 4-10] 시설물 인지 방해 요소를 제거한 가로수

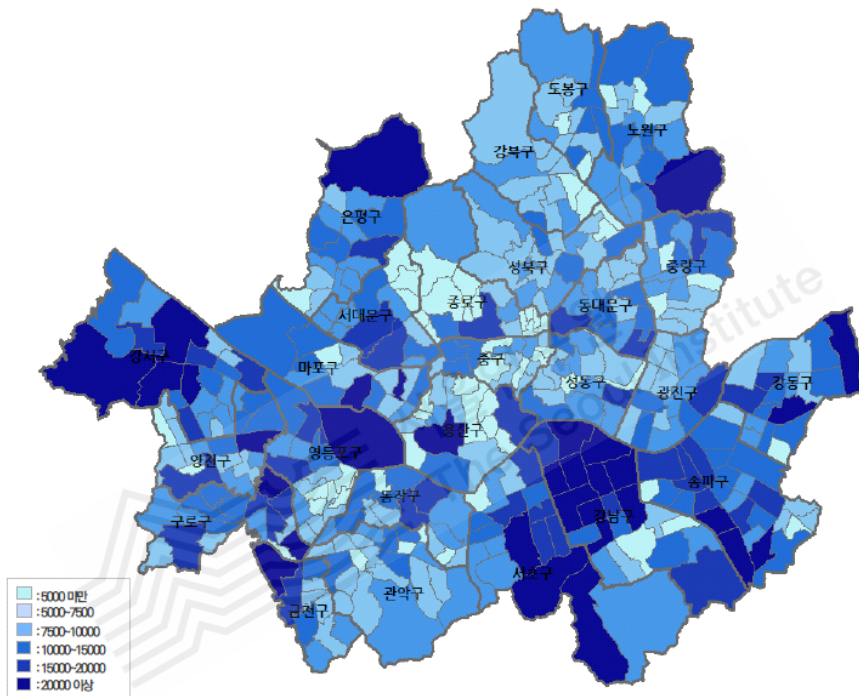
2_[대응방향 2] 서울의 주차공간 변화

1) 주차공간 전환 가능지역 도출

자율주행 시대의 주차장은 도로와 마찬가지로 용량 증가와 수요 변화의 가능성을 모두 가지고 있다. 우선 무인주차 기술을 통한 용량 증가가 예상되는데, 기존 연구에서는 20~87%까지 다양한 범위의 증가를 제시하고 있다. 주차 수요는 승용차 이용 증가에 따라 증가할 수 있으나 도시의 교통체계가 공유교통으로 전환되는 경우에는 90% 이상의 주차장 감소효과가 있을 것으로 전망되고 있다. 이처럼 자율주행의 도입 형태와 교통체계의 변화에 따라 주차공간의 전환 가능성은 다양하게 제기될 수 있다. 본 연구에서는 향후 주차장 용량이 증가할 기술적 가능성과, 정책적 추진을 통해 향후에도 대중교통(공유교통) 중심의 서울교통체계가 유지된다는 전제를 기반으로 향후 주차공간의 전환 가능성을 제안하고자 한다. 주차공간 전환 분석 시에는 부설주차장과 민간 주차장이 많은 서울의 주차환경 특성을 반영하도록 하였다.

현재 서울의 주차면수는 2021년 기준 총 435만 면으로 행정동별로는 평균 10,246면을 보유하고 있는 것으로 분석된다. 세부적으로 급간을 나누어서 구분 시 주차면수가

5,000~7,500면인 행정동이 114개(26.8%)로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 주차면을 많이 보유하고 있는 동은 강남구 역삼1동, 금천구 가산동, 영등포구 여의도동, 강서구 가양1동, 서초구 서초3동 등으로 파악되었으며, 다른 동에 비해 상대적으로 주차면을 적게 보유하고 있는 동은 서초구 반포본동, 용산구 이촌2동, 양천구 신월 6동, 영등포구 신길4동, 종로구 승인1동 등으로 나타났다. 주차면이 많은 상위 10개 행정동과 하위 10개 행정동의 주차면수 평균을 비교할 경우 상위 행정동 그룹이 하위 행정동 그룹에 비해 약 3만 5천면 더 주차면을 보유하고 있는 것으로 나타나, 지역에 따라 주차면수 차이가 큰 것으로 분석되었다.



자료: 서울 열린데이터광장, 2021, 서울시 주차장(동별) 통계.

[그림 4-11] 서울시 행정동별 주차면수 분포(2021년)

[표 4-3] 서울시 행정동별 주차면수(2021년 기준)

(단위: 개소, %)

급간	5,000면 미만	5,000~7,500면	7,500~10,000면	10,000~15,000면	15,000~20,000면	20,000면 이상
행정동 개수	61개	114개	91개	88개	39개	32개
비율	14.4%	26.8%	21.4%	20.7%	9.2%	7.5%

자료: 서울 열린데이터광장, 2021, 서울시 주차장(동별) 통계.

[표 4-4] 서울시 주차면 보유 상·하위 행정동(2021년 기준)

(단위: 면)

상위 행정동 10개				하위 행정동 10개			
순위	시군구	행정동	면수	순위	시군구	행정동	면수
	평균		36,918		평균		1,647
1	강남구	역삼1동	53,889	416	서초구	반포본동	2,343
2	금천구	가산동	50,971	417	용산구	이촌2동	2,194
3	영등포구	여의도동	50,733	418	양천구	신월6동	2,107
4	강서구	가양1동	35,065	419	영등포구	신길4동	2,085
5	서초구	서초3동	31,193	420	종로구	송인1동	1,860
6	마포구	염리동	30,949	421	종로구	삼청동	1,840
7	서초구	양재2동	30,475	422	종로구	창신3동	1,722
8	은평구	진관동	29,710	423	용산구	용산2가동	1,199
9	강남구	대치2동	28,501	424	종로구	창신2동	999
10	서초구	양재1동	27,696	425	강동구	둔촌1동	116

자료: 서울 열린데이터광장, 2021, 서울시 주차장(동별) 통계.

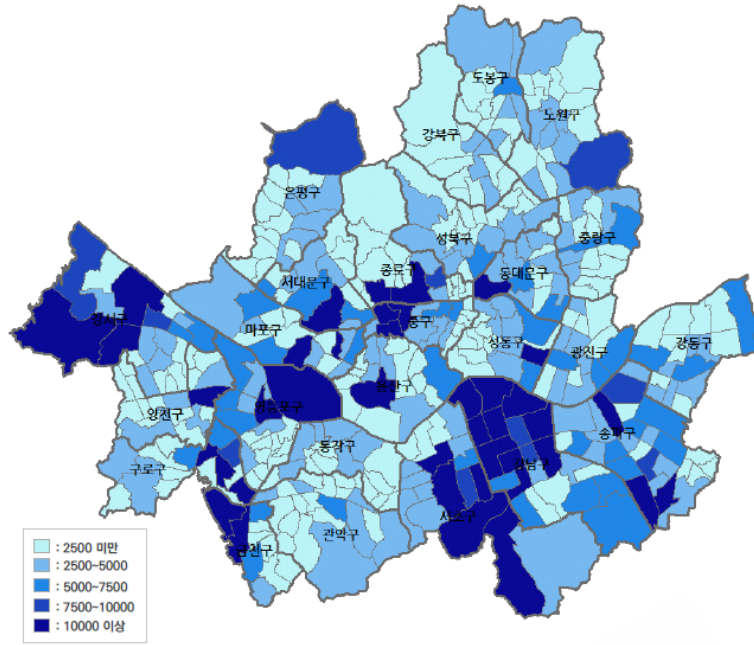
서울의 주차공간을 전환의 대상으로 고려할 때 주의할 점은 전체 435만 면 중 60%에 달하는 250만여 면이 주택과 공동주택 등 주거지 주차장으로 활용되고 있는 점이다. 2019년 기준 서울의 주거지역 주차장 확보율은 103.0%로 전체 주차장 확보율인 136.1%와 비교하면 상대적으로 열악한 수준임을 알 수 있으며,²⁵⁾ 2020년 불법주차 관련 국민신문고 민원이 314만 건에 달하는 등 주거지 주차와 관련된 이슈와 사회적 갈등은 지속적으로 증가하고 있다.²⁶⁾ 따라서 향후 자율주행 시대가 되더라도 주거지의 주차공간을 축소하거나 다른 용도로 전환하여 활용하기에는 한계가 있을 것으로 예상할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 자율주행으로 인한 주차공간 전환 대상 선정 시 일반 및 공동주택의 주차면수는 제외하고 분석을 수행하였다. 주거지 주차공간을 제외한 약 180만 면의 주차면수를 대상으로 GIS분석을 통해 행정동별 분포를 도출하였고([그림 4-12]), 행정동별 시가화 면적을 고려하여 행정동별 주차장 밀도²⁷⁾를 [그림 4-13]과 같이 도출하였다. 주차장 밀도가 높은 지역은 종로구·중구, 여의도, 강남 등 서울의 3도심과 김포공항 인근인 것으로 분석되었는데, 이 지역은 민간 부설 주차장이 집중되어 있는 지역으로, 향후 개별 주차장의 용량 증가 시 지역 내 주차 용량의 증가가 다른 지역보다 높을 것으로 예상할 수 있다.

25) 서울시, 2020, 서울시 주거지역 주차수요 관리를 위한 개선방안 연구 용역, pp.13~14.

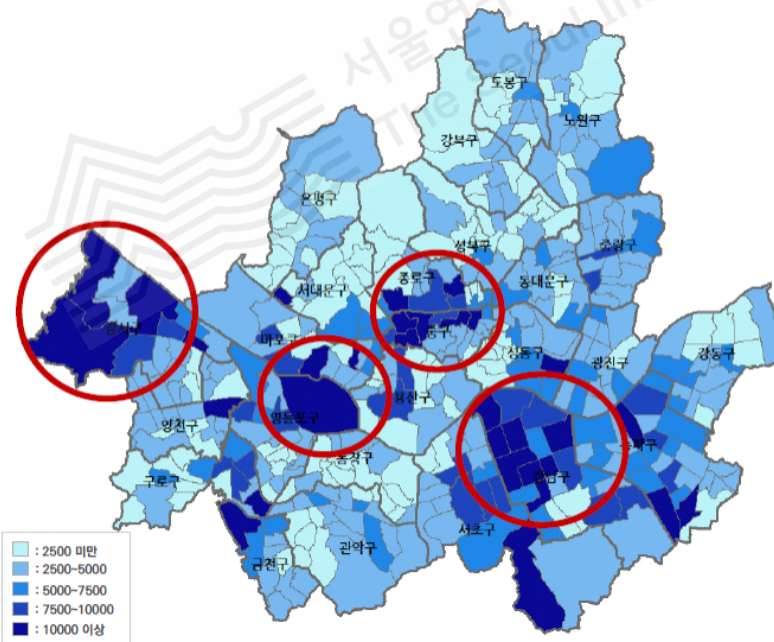
26) 국민권익위원회, 2022, 공동주택 등 사유지내 주차갈등 해소방안.

27) 시가화 면적을 고려한 주차장 밀도 계산은 행정동 주차면수에서 주거, 상업, 공업 지역 면적을 나눈 값임



자료: 서울 열린데이터광장, 2021, 서울시 주차장(동별) 통계

[그림 4-12] 일반·공동주택 제외 시 서울시 주차면수 분포(2021년)



자료: 서울 열린데이터광장, 2021, 서울시 주차장(동별) 통계

[그림 4-13] 일반·공동주택 제외 및 시가화 면적 고려한 서울시 주차밀도(2021년)

2) 지역·유형별 주차장 활용 방안

행정동별 주차밀도 분석을 통해 향후 자율주행 시대의 주차공간의 증대가 예상되는 지역은 건축물 부설주차장이 집중되어 있는 서울의 3도심 지역임을 알 수 있었다. 해당 지역은 주차장 용량 증가 시 잉여 공간의 확보가 가능하여 일부 주차 공간을 다른 용도로 활용할 수 있는 가능성이 높을 것으로 예상된다. 특히 자율주행기반의 공유교통체계가 활성화되는 경우 도심의 주차수요가 크게 감소하여 주차공간의 전환은 가속화될 수 있을 것이다.

주차환경 변화 여건에서 서울의 주차공간을 효율적으로 활용하기 위한 방안으로, 도심 건축물의 부설주차장에 도심의 주차수요를 집중시키고, 지상 공간을 차지하고 있는 노상과 노외 주차장은 다른 용도로 활용하는 방안을 제안한다. 민간 소유가 대다수인 부설주차장의 개방과 공유를 유도하기 위해서는, 첨단기술 적용과 공간 재설계를 통해 주차장 용량과 효율성을 증진시키는 ‘서울 스마트주차 프로그램(가칭)’을 도입하여 지원해야 하며, 주차장 용량 증가를 통해 발생하는 일부 잉여공간에 대해서는 용도 전환 등의 인센티브를 제공할 수 있어야 한다. 도심의 주차수요가 부설주차장으로 이동한 이후에는 기존의 노상·노외 주차 공간을 다른 용도로 전환하거나 자율주행 자동차의 승하차 공간 등으로 활용²⁸⁾할 수 있도록 구체적인 추진방안을 마련해야 한다. 한편, 도심의 주차공간 전환으로 발생하는 수익은 주거지의 부족한 주차공간 확보에 재투자되어야 한다. 특히 도심과 주거지역의 토지비용 차이를 고려하면, 소수의 도심 주차공간 전환 비용으로 다수의 주거지 주차공간 확보를 기대할 수 있을 것이다. 주거지 내 주차공간 확보는 현재에도 지속적으로 추진하고 있지만 다음과 같이 자율주행의 특성을 고려하여야 할 필요가 있다. 우선, 자율주행 기술로 인한 주차 용량 증대 효과를 높일 수 있도록 대규모 주차공간을 조성해야 한다. 다수의 소규모 주차공간보다는 소수의 대규모 주차공간이 감소하는 유인공간 등의 효과를 극대화하여 주차효율을 높일 수 있기 때문이다. 또한, 전기차 전환을 반영한 충전시설 설치가 함께 고려되어야 한다. 2장의 설문조사 결과에 나타났듯이 향후 자동차 이용자들은 전기차를 주거지 주차장에서(완속으로) 충전하는 것을 가장 선호하기 때문이다(표 2-17) 참고).

28) 지상 주차공간의 활용 방안에 대해서는 ‘대응방향 5] 도시교통-도시공간 통합관리방안’에서 구체적으로 제시함.

3) 도심 주차공간과 자율주행 기반 공유교통의 연계

한편 야간 이용률이 저조한 도심의 주차장은 자율주행기반 공유교통체계와 연계하여 심야시간의 차고지 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 자율주행 시대의 공유교통 도입에 대해서는 다양한 연구결과가 존재하지만, 높은 자율주행 자동차의 가격으로 개인 소유가 어렵거나 합리적인 가격대의 공유 서비스가 도입되는 경우, 공유기반 도시교통체계로의 전환이 가속화될 것으로 전망하고 있다. 공유교통이 활성화 되게 되면 주거지의 주차 수요를 크게 감소시켜 새로운 주차공간 확보를 최소화 할 수 있다는 장점도 기대할 수 있다. 반면, 야간에 공유차량들이 주차, 정비, 충전을 수행할 차고지 확보도 필수적이다. 현재의 버스 등은 도시 외곽의 차고지로 이동하게 되지만, 비교적 소형차 기반으로 조성될 자율주행 공유차량은 도심의 부설 주차장을 야간 차고지로 활용할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 공유교통의 운영주체와 부설주차장의 관리주체를 연계하고 제도적으로 지원하는 새로운 ‘올빼미 주차 프로그램(가칭)’을 개발하여 도입할 필요가 있다.



3_[대응방향 3] 자율주행의 혜택을 함께 누리는 서울의 도시 교통 개편

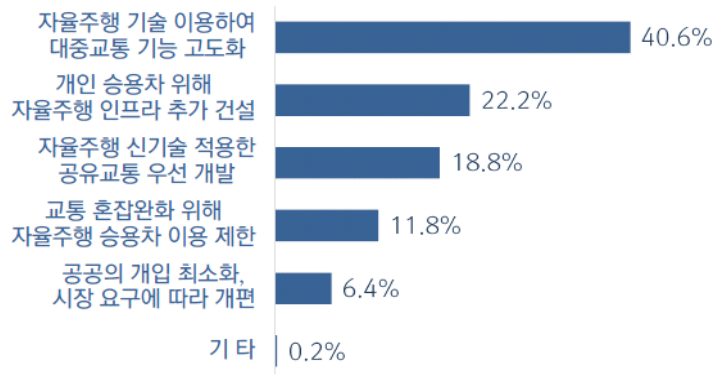
1) 도시교통 개편 방향 설정

서울과 수도권 시민 1,400명을 대상으로 '자율주행 시대를 맞이하여 서울 도시교통이 나아가야 할 방향'에 대해 조사한 결과, '자율주행 기술을 이용한 대중교통 기능 고도화'가 가장 중요하다고 응답한 비율이 40.6%로 가장 높게 나타났다. '개인 승용차를 위한 인프라 추가건설(22.2%)'과 '자율주행 기술을 적용한 공유교통 우선 개발(18.8%)'이 뒤를 이었으며, '교통혼잡 완화를 위한 자율주행 승용차 이용제한'과 '공공의 개입 최소화'는 각각 11.8%, 6.4%로 나타났다. 설문조사 결과를 통해 자율주행 시대를 준비하는 공공의 적극적인 노력이 필요하며, 시민들은 개인 승용차를 위한 제도보다는 대중교통과 공유교통의 활성화를 기대하고 있는 것을 알 수 있었다.

[표 4-5] 자율주행 시대 서울시 도시교통 개편 방향(수도권→서울시 통행자)

(단위: 명, %)

구분	소계	자율주행 기술 이용하여 대중교통기능 고도화	개인승용차 위해 자율주행 인프라 추가 건설	자율주행 신기술 적용한 공유 교통 우선개발	교통혼잡 완화를 위해 자율주행승용차 이용제한	공공의 개입 최소화, 시장요구에 따라 개편	기 타
응답자 수	1,400	568	311	263	165	90	3
비율	100.0%	40.6%	22.2%	18.8%	11.8%	6.4%	0.2%



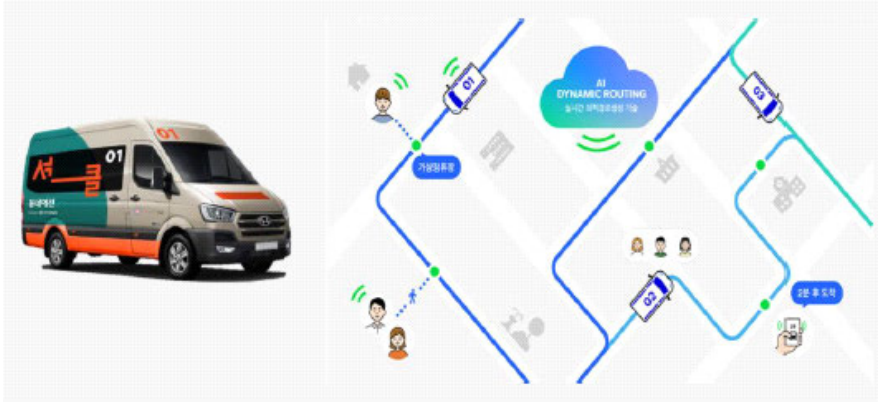
[그림 4-14] 자율주행 시대 서울시 도시교통 개편 방향(수도권→서울시 통행자)

3장에서 제시한 바와 같이 자율주행 도입으로 승용차의 편익은 증가하고 승용차 이용 수요가 급증할 것으로 전망된다. 급격하게 증가하는 자율주행 승용차 수요에 대한 대응책을 마련하지 못한다면, 기존의 극심한 교통혼잡을 피할 수 없게 되어 자율주행이 제공하는 혜택을 교통혼잡과 같은 사회적 비용으로 모두 소모하게 될 것이다. 따라서, 자율주행 승용차 증가에 대응하는 대중교통(공유교통) 활성화를 서울의 도시교통 개편 방향으로 설정하며, 이를 통해 자율주행의 혜택을 시민 모두가 함께 누리도록 해야 할 것이다.

2) 자율주행 기반의 대중교통 서비스 개선

자율주행 시대의 대중교통의 변화 방향을 다음과 같이 제안할 수 있다. 우선, 자율주행 시대의 대중교통은 차량의 형태가 소형화되고 실시간 수요에 응답하는 On-demand 수요대응형 교통수단으로 변화될 것이다. 지선버스, 마을버스와 같은 기능을 수행하면서 필요에 따라 노선 변경이 가능하고 이용 수요에 적합한 서비스가 제공될 가능성이 크다. 수요대응형 교통수단은 이동 수요가 발생하면 사람을 태우고 목적지에 내려주되, 중간 경로에 탑승 요청한 승객이 있으면 추가로 태워서 이동하는 수단으로, 다수의 출발·도착지를 고려한 뒤 최적 경로로 이동하며 서비스를 제공하는 개념이다.²⁹⁾ 이러한 자율주행 기반의 대중교통 서비스를 제공하기 위해서는 무엇보다 서비스 수준이 향상되어야 한다. 통행시간을 단축시킬 수 있는 최적경로 알고리즘을 개발하거나, 지금의 대중교통노선 구축 원칙과 같이 소외지역을 최소화시킬 수 있도록 접근성을 강화하는 방법을 마련할 필요성이 있다.

29) 이신해 외, 2021, 뉴노멀 시대 준비하는 서울의 교통정책 방향, 서울연구원, p.28에서 일부 내용 발췌.



자료: 이신해 외, 2021, 뉴노멀 시대 준비하는 서울의 교통정책 방향. 서울연구원.

[그림 4-15] 수요대응형 서비스 예시(현대자동차 DRT 서비스 셔클)

또한 자율주행 대중교통 활성화를 통해 발생하는 서울시 전체의 사회적 비용 감소 효과를 모든 시민이 함께 누리기 위해서는 획기적인 대중교통 요금 인하 정책인 ‘서울 대중교통 Free요금(가칭)’을 시행해야 한다. 현재의 대중교통 운영 비용은 요금과 서울시의 재정보조금을 기반으로 운영되고 있다. 예를 들어 서울 버스의 운영 비용 중 요금 수입은 전체의 약 80% 수준이며, 20%는 재정지원금으로 충당하고 있다. 이때 서울 버스의 운영 비용을 구체적으로 살펴보면 [표 4-6]에 제시된 바와 같이 인건비가 차지하는 비율이 대형은 약 69.9%, 중형은 약 71.0%(2021년 기준)를 차지하고 있다. 향후 자율주행 기반의 대중교통체계가 도입되면, 현재의 운영비용 중 상당수를 차지하는 인건비 감소를 기대할 수 있을 것이고, 이를 기반으로 획기적인 요금 인하 추진도 가능할 것으로 전망된다.³⁰⁾

30) 이러한 구상을 실현하기 위해서는 고용 및 일자리 감소 이슈, 고가의 자율주행 자동차 등 극복해야 할 문제들이 존재하고 있다. 하지만 이 연구에서는 자율주행 기술이 고도화된 장기 미래를 대상으로 하고 있어 앞에서 언급한 제한 사항들은 다른 정책적 지원을 통해 해결이 되었을 것으로 가정하였다.

[표 4-6] 차량별 일대당 표준원가 산정표(2021년 기준, 자율운영)

(단위: 원)

구 분			1월		2월~7월		8월~12월	
			대 형	중 형	대 형	중 형	대 형	중 형
가동비	운전직 인건비	급여	427,750	427,750	428,744	428,744	434,491	434,491
		퇴직급여	35,646	35,646	35,729	35,729	36,208	36,208
		법정복리	50,209	50,209	50,326	50,326	51,001	51,001
		기타복리	11,292	11,292	11,292	11,292	11,292	11,292
	연료비	75,425	72,431	75,425	72,431	75,425	72,431	
	타이어비	2,937	2,937	2,937	2,937	2,937	2,937	
	소계	603,259	600,265	604,453	601,459	611,354	608,360	
보유비	정비직 인건비	급여	17,619	17,619	17,619	17,619	17,841	17,841
		퇴직급여	1,468	1,468	1,468	1,468	1,487	1,487
		법정복리	2,068	2,068	2,068	2,068	2,094	2,094
		기타복리	570	570	570	570	570	570
	사무 관리직 인건비	급여	21,240	21,240	21,240	21,240	21,240	21,240
		퇴직급여	1,770	1,770	1,770	1,770	1,770	1,770
		법정복리	2,493	2,493	2,493	2,493	2,493	2,493
		기타복리	1,234	1,234	1,234	1,234	1,234	1,234
	임원 인건비	급여	4,479	4,479	4,479	4,479	4,479	4,479
		퇴직급여	373	373	373	373	373	373
		법정복리	526	526	526	526	526	526
		기타복리	60	60	60	60	60	60
	차량보험료	10,148	7,863	10,148	7,863	10,148	7,863	
	차량감가상각비	37,891	33,547	37,891	33,547	37,891	33,547	
	기타차량유지비	4,686	4,686	4,686	4,686	4,686	4,686	
	기타관리비	11,037	11,037	11,037	11,037	11,037	11,037	
	차 고 지 비	6,780	4,746	6,780	4,746	6,780	4,746	
	정비비	7,253	7,253	7,253	7,253	7,253	7,253	
	적정 이윤	기본이윤	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500
		성과이윤	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500
소계	148,695	140,032	148,695	140,032	148,962	140,299		
표준운송원가합계			751,954	740,297	753,148	741,491	760,316	748,659

자료: 서울시, 2021년 시내버스 표준원가에 따른 운송비용 정산지침, p.10.

이 연구에서 수행한 설문조사 결과에서도 대중교통 요금 인하로 인한 효과는 뚜렷이 나타나고 있다. 자율주행 도입으로 대중교통의 수단 부담률이 40% 이하로 낮아졌으나, 대중교통 요금을 50%로 인하하는 경우에는 현재와 유사한 수준인 62.4%까지 부담률이 증가하였고, 대중교통 요금을 전면 무료로 하는 경우에는 75.1%까지 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 대중교통의 가격 탄력성은 낮은 편이기 때문에 대

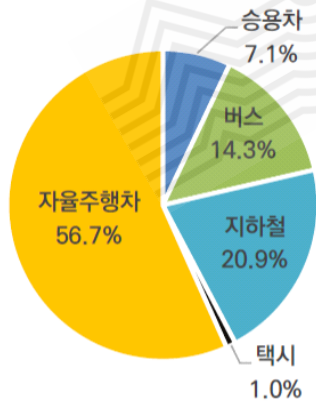
중교통 요금 인하의 효과가 실제 적용 시에는 달라질 수 있다. 하지만, ‘반값(50%)’ 또는 ‘무료’라는 단어가 상징하는 정책적 효과는 유의미할 수 있을 것으로 기대된다. AI 등 다른 신기술을 활용하여 최적 경로를 설정하고 시민의 이용을 유도할 수 있는 요금 정책을 수립한다면, 자율주행으로 인해 승용차로 이동하는 수요를 억제하고 대중교통(공유교통) 중심으로 균형적인 서울 도시교통체계를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

[표 4-7] 전 교통수단의 자율화 및 요금인하 정책 적용 시 수단 선택(설문조사 결과)

(단위: 명, %)

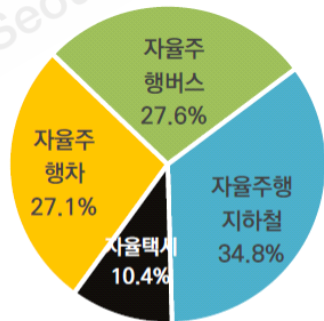
구분	계	자율주행차	대중교통			자율주행 택시	
			소계	자율주행 버스	자율주행 지하철		
버스, 지하철, 택시 요금 50% 인하	명	1,400	380	874	387	487	146
	비율	100.0%	27.1%	62.4%	27.6%	34.8%	10.4%
버스, 지하철 무료, 택시 요금 50% 인하	명	1,400	232	1,052	445	607	116
	비율	100.0%	16.6%	75.1%	31.8%	43.4%	8.3%

〈승용차만 자율주행화〉

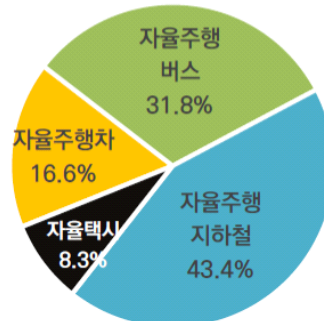


〈전 수단 자율주행화〉

■ 버스, 지하철, 택시요금 50%



■ 버스, 지하철 요금 무료 / 택시요금 50%



[그림 4-16] 전 교통수단의 자율화 및 요금인하 정책 적용시 수단 선택(수도권→서울시 통행자)

4_[대응방향 4] 자율주행 시대의 도시교통 운영방안 마련

자율주행 자동차 자체는 짧은 인지반응시간으로 도로용량을 증가시키고 사람의 실수를 배제하여 교통사고를 감소시키는 등 긍정적인 측면을 가지고 있다. 하지만, 자율주행 자동차를 활용하는 사람들의 이용행태는 현재의 유인차에서 발생하지 않는 새로운 교통문제를 야기할 수 있다. 이번 절에서는 자율주행 자동차를 이용하는 새로운 행태로 인해 예상되는 문제점을 도출하고 대응방향을 제안하고자 한다.

자율주행 자동차를 이용하면서 발생 가능한 가장 큰 문제점은 도로변에서의 잦은 승하차와 이로 인한 교통혼잡과 이와 연계된 사고의 발생이다. 운행하는 버스가 정류장에서 승객의 승하차를 위해 정차했을 때 발생하는 교통혼잡이나 택시정류소에 대기하는 택시들로 인해 주변 도로가 혼잡해지는 경우 등이, 모든 도로 구간에서 모든 자율주행 자동차로 인해 발생할 수 있는 것이다. 이러한 문제점에 대응하기 위해 ‘대응방향 1] 서울의 도로공간 변화’에서는 Flex Zone 등 물리적 대응방안을 제시하였으나, 연속적인 건축물과 차량이 많은 대도시 서울의 특성상 모든 도로에 주정차 지역을 도입하는 것은 실현가능성이 낮을 뿐만 아니라 그 도입 효과도 좋지 않을 것으로 판단된다. 따라서, 이 연구에서는 자율주행 시대의 효율적인 도로 운영을 위해 도로의 특성에 맞는 주정차 금지구역 설정을 제안한다. 주정차 금지구역 설정을 위해서는 해당 도로변과 내부 건축물 등 목적지까지의 진입을 고려한 대안적인 주정차 지역이나, 기존의 공영주차장 등을 활용한 공공주정차 지역 등을 도입하여 도시활동에 제약이 발생하지 않도록 해야 한다.³¹⁾ 또한 설정된 주정차 금지구역은 법제도적 규제를 통해 자율주행 알고리즘에 반영하여 이용자가 임의로 주정차 금지구역을 위반하지 않도록 해야 한다. 교통신호 준수와 같은 강제규약으로 등록하여 자율주행 자동차의 무분별한 승하차 행태로 인한 부작용이 발생하지 않도록 해야 한다.

자율주행 자동차 도입 시 예상되는 두 번째 문제는 자율주행 자동차가 이용자 없이 빈 차로 도시를 배회하는 ‘공차(empty vehicle)’ 주행이다. 무인 택시 등 공유형 자율주행 자동차가 승객의 호출을 기다리거나 대응하여 공차로 주행하는 것은 서비스 특성상 불가피한 일이나 이는 최적의 배차시스템을 통해 최소화할 수 있을 것이다.

31) 블록 내부 진입로 설정, 공공 주정차 지역 등 도시계획과 관련한 사항은 [대응방향 5] 도시교통-도시공간 통합관리 방안'에서 다시 제안함

하지만 개인 소유의 자율주행 자동차가 공차로 운행하는 것은 교통혼잡과 에너지 낭비를 초래하여 막대한 사회적 비용의 손실을 발생시킬 수 있다. 지난 2018년 서울연구원에서 수행한 연구³²⁾에서는 저렴한 주차공간을 찾아 공차로 운행하는 자율주행 자동차로 인해 추가로 발생하는 VKT³³⁾를 산출하였다. 이 연구에서는 도심인 종로구와 중구를 목적지로 하는 자율주행 자동차가 목적지인 도심의 주차 비용보다 다른 지역으로 이동하고 주차하는 비용이 더 저렴하면 해당 지역으로 이동하여 주차한다고 가정하였는데, 저렴한 주차장으로 이동하기 위해 공차로 주행하며 발생시키는 추가 VKT가 약 1천 4백 7십만 대·km인 것으로 분석되었다. 2014년 기준 서울시 전체의 총 VKT가 약 5천 3백 7십만 대·km인 것을 감안하면,³⁴⁾ 종로구·중구만을 목적지로 하는 자율주행 자동차의 주차 목적 배회가 발생시키는 추가 VKT가 전체의 약 27.4%로 상당히 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다. 목적지가 강남 등 다른 지역인 차량과 주차 이외의 목적으로 발생하는 전반적인 추가 VKT를 고려하면, 공차 주행에 대한 제재가 없는 서울의 교통혼잡은 더욱 극심해질 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 불필요한 사회적 손실을 방지하기 위해 서울 시내의 공차 주행 허용 수준에 대한 결정이 필요하다. 허용 수준은 수단의 특성(개인소유와 공유교통), 통행의 특성(비상상황과 일상생활), 환경의 특성(첨두시간과 심야시간) 등 합리적인 기준을 통해 결정할 수 있으며, 정책의 목적(사회비용 최소화와 개인 효용 극대화)에 의해 제한 범위를 조정할 수 있을 것이다. 지금까지 자율주행 공차 주행, 특히 개인 소유 자율주행의 공차 주행에 대한 논의는 거의 이루어지지 않았다. 자율주행 시대를 준비하는 서울의 관점에서, 합리적인 자율주행 자동차의 운영 방안에 대한 논의가 필요한 시점이다.

[표 4-8] 자율주행차 전환과 주차이동으로 발생하는 추가 VKT

(단위: 대, 대·km)

자율주행차 목적지 주차			자율주행차 목적지 외 주차배분			
소계	승용차 이용자 전환통행	대중교통 이용자 전환통행	주차대수			추가발생 VKT
			소계	승용차 이용자 전환통행	대중교통 이용자 전환통행	
71,894	35,494	36,400	596,157	162,612	433,545	14,703,116

자료: 김원호 외, 2018, 서울시 자율주행차 주차수요 관리방안, 서울연구원, p.61.

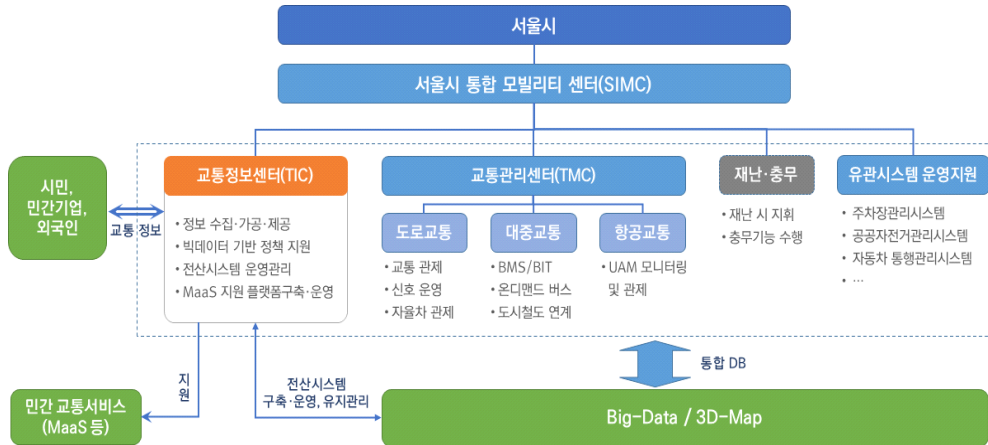
32) 김원호 외, 2018, 서울시 자율주행차 주차수요 관리방안, 서울연구원.

33) VKT(Vehicle Kilometers Traveled)는 해당 도로를 이용한 모든 자동차가 주행한 이동거리 합을 의미함

34) 서울시, 2014, 지속 가능한 도시교통 관리방안 연구

도시운영의 관점에서 고민해야 할 또 다른 주제는 자율주행 자동차에 대한 공공의 관리 범위를 결정하는 것이다. 지금까지 서울시는 교통관리시스템을 통해 생성된 교통 정보를 운전자 또는 내비게이션 등 민간사업자에게 제공하였고, 제공된 정보를 통한 노선 결정 등의 선택은 해당 운전자의 판단에 맡기고 있었다. 자율주행 시대에는 자율주행과 관련된 커넥티드(connected) 기술을 통해 고도화된 교통데이터가 수집될 수 있고, 자율주행 알고리즘을 통한 직접적인 관제(control)도 가능할 것으로 판단된다. 이러한 여건이 마련된 상황에서도 공공 교통관리시스템이 지금과 같이 정보제공을 하는 역할에 그친다면, 무신호교차로 운영, 도시교통 최적화 등 자율주행 기술로 가능한 다양한 장점을 활용하지 못할 가능성이 높다. 자율주행 자동차가 개별적으로 사람보다 우수한 운전성을 발휘한다고 해도, 최적의 교통운영상태를 달성하기 위해서는 다수의 자율주행 자동차의 상호관계를 조정하는 관리자의 역할이 필요하기 때문이다. 특히, 교통사고나 자연재해 등 비상상황이 발생하였을 때 더욱 적극적인 관리가 요구될 수 있다. 하지만, 사유재산인 자율주행 자동차에 대해 공공에서 관리하는 것에 대해서는 논란의 여지가 있어 적절한 사회적 합의를 위한 논의가 필요하다. 이는 자율주행의 공차 주행과 마찬가지로, 수단과 통행, 도로환경 등 다양한 조건을 고려한 유연한 기준을 수립하고, 공공의 개입을 최소화하는 범위에서 필요한 사회적 최적화를 달성할 수 있도록 접근해야 할 것이다. 지난 2021년 서울연구원에서는 서울 TOPIS의 발전 방향을 제안³⁵⁾하였으며, 교통정보, 교통관리, 지원기능을 총괄하는 ‘서울시 통합 모빌리티 센터(Seoul Integrated Mobility Center, SIMC)’, ‘교통정보센터(Transportation Information Center, TIC)’, ‘교통관리센터(Transportation Management Center, TMC)’ 등을 제안하였다. 향후 제안된 발전방안을 구체화하는 과정에서 향후 서울 도시교통체계의 중심이 될 자율주행 자동차에 대한 적정 관리 범위를 고민해야 할 것이다.

35) 유경상 외, 2021, 서울시 교통정보센터(TOPIS) 기능 재정립 및 발전방향, 서울연구원.



자료: 유경상 외, 2021, 서울시 교통정보센터(TOPIS) 기능 재정립 및 발전방향, 서울연구원, p.90.

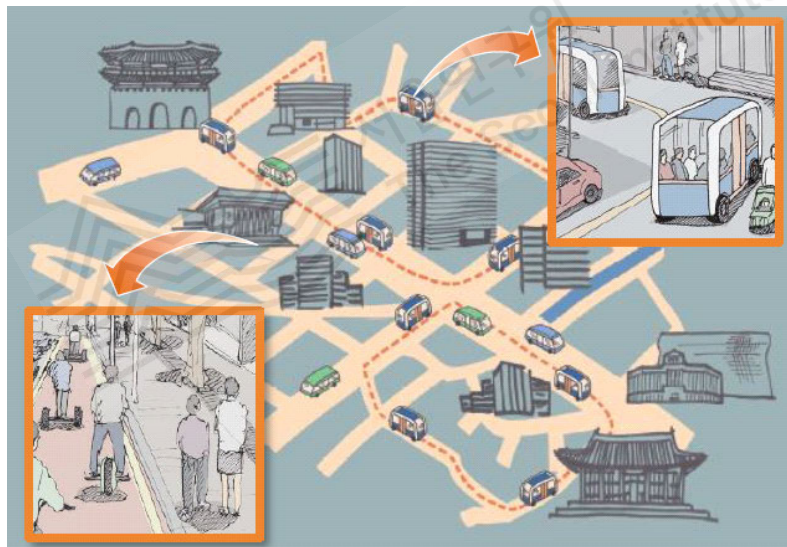
[그림 4-17] 서울 TOPIS 확대 발전 방향

5_[대응방향 5] 도시교통-도시공간 통합관리체계 구축

자율주행의 도입은 도시교통뿐만 아니라 가로와 건축물, 도시공간과 도시구조까지 광범위하게 영향을 끼칠 것으로 예상된다. 자율주행으로 바뀌게 될 도시교통의 변화와 함께, 도시계획, 건축과 도시설계 차원의 변화도 동반될 것이므로 도시 전반의 변화를 예상하고 이에 대응해 나가는 것이 필요하다. 이 연구에서는 자율주행 시대에 대응하는 공간적 모색으로서 구와 동 등 지역 단위, 한 개 또는 수 개의 블록을 묶는 지구(district) 단위, 그리고 개별 건축물 단위로 구분하여 도시교통 통합관리체계 및 계획적 해법을 제안하고자 한다.

첫 번째, 도심 등 일부 지역을 대상으로 승용차 등 개인교통수단을 배제한 자율주행 공공교통 전용지역 도입을 고려할 수 있다. 설정된 지역 내에서는 모든 개인소유 차량(유인차, 자율주행 자동차)의 진입을 허용하지 않고, 자율주행 대중교통, 수요응답형 셔틀, 퍼스널 모빌리티 등 공공 자율주행 기반 교통체계를 갖추어 이동성을 보장해야 한다. 이는 교통안전과 효율성 향상, 차량에서 배출하는 매연 감소, 교통 약자의 이동

성 증대뿐만 아니라, 이상적인 도시 모습으로 제시되어 온 활력 넘치는 보행가로, 쾌적한 도시공간 구현을 위한 대도시 서울의 시도이다. 자율주행 공공교통 전용지역은 현재 상암·을지로·강남 일대 등에서 시범 운영 중인 자율주행 시범운행지구(테스트베드)의 개념을 확장하는 것으로, 자율주행의 혜택을 극대화하여 보여줄 수 있는 진정한 의미의 리빙랩(Living Lab)이 될 것으로 기대할 수 있다. 이처럼 개인교통수단을 배제하는 공공교통 전용지역에 대한 개념은 2017년 서울연구원의 연구³⁶⁾와 2018년 '서울시 지능형교통체계(ITS) 기본계획' 등을 통해 한양도성 '녹색교통진흥지역'의 이상향으로 논의되어 왔으나, 실질적 추진은 미흡한 상황이다. 최근 국토교통부에서 '모빌리티 혁신 로드맵'³⁷⁾을 통해 '27년까지 레벨4 수준의 자율주행 상용화를 달성한다는 기존의 목표³⁸⁾를 재확인한 바와 같이, 자율주행 시대는 점차 현실화되고 있다. 자율주행 시대를 선도하는 서울에서 지금까지 개념적으로 제기되었던 공공자율주행 전용지역을 도입하고 구체화하는 것은 도시 서울과 서울 시민의 일상에 큰 의미를 가져올 것으로 기대된다.



자료: 서울연구원, 진화하는 교통, 2017, p.52.

[그림 4-18] 한양도성(녹색교통진흥지역) 통행 제한

36) 서울연구원, 진화하는 교통, 2017.

37) 국토교통부, 미래를 향한 멈추지 않는 혁신 '모빌리티 혁신 로드맵', 2022.

38) 관계부처 합동, 미래자동차 산업 발전 전략 '2030년 국가 로드맵', 2019.

두 번째로, 공공 및 개인소유 자율주행 자동차가 허용되는 모든 서울의 도시공간에서 자율주행 자동차를 수용할 수 있는 공간적 계획수립이 필요하다. 앞에서 언급한 바와 같이 자율주행 자동차의 도로변에서의 잦은 승하차와 이로 인한 교통혼잡, 사고의 발생 등은 서울의 간선도로변이 아닌 지선도로 중심의 블록과 지구(district) 단위에서 문제가 더욱 심각해질 수 있기 때문이다.

자율주행 자동차로 예상되는 문제점은 자동차와 사람, 도시공간 간의 관계를 재정립함으로써 해결할 수 있다. 예를 들어, 스페인 바르셀로나의 슈퍼블록 프로젝트는 바르셀로나 도시구조를 재편하여 자동차 통행을 위한 도로는 대폭 제한하고 그 공간을 시민들에게 녹지 공간으로 돌려주는 개념이다. 이 프로젝트를 통해 자동차의 일방향 통행, 개별 자동차 진입 금지구역의 설정, 별도 주차장 운영 및 승하차존 설정 등 차량 통행 방식을 전환하고 블록 내 시민들에게 차 없는 공간(car-free space), 보행이 자유롭고 놀이가 가능한 공공공간을 돌려주었다. 이러한 개념을 적용해 본다면 잦은 승하차와 같은 자율주행 자동차의 부작용을 최소화하기 위해서는, 자율주행 자동차 운영을 위한 적정수준의 물리적 환경조성과 운영 규제가 동시에 필요함을 도출할 수 있다.



자료: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/supermanzanas/>

[그림 4-19] 스페인 슈퍼블록

간선도로의 교통 방해를 최소화하기 위해서는 블록 내부로 자율주행 자동차를 진입시켜 필요한 승하차 행위가 발생할 수 있도록 해야 한다. 하지만, 블록 내부로 연결되는 모든 지점에서 자율주행 자동차를 진출입시키며 자율주행 자동차의 승하차를 조건없이 허용하게 되면, 고밀도 도시인 서울의 블록은 극심한 혼잡이 발생하여 블록 내부에서 교착상태(gridlock)에 빠질 우려가 있다. 또한 자율주행 자동차의 블록 내부 주행

은 보행자 통행과 상충이 발생하여 효율성 저하를 가져오고 교통사고 발생의 위험도 증가시키게 된다. 따라서, 블록 외부에서 내부로 진출입이 가능한 지점을 선정하고, 건축물 또는 블록 내부의 정해진 지점에서 필요한 승하차 행위가 이루어지도록 유도해야 한다. 최근 아파트 단지설계 시 [그림 4-20]과 같이 학원버스의 회차 등을 위한 별도의 공간과 동선을 확보하는 경우가 있는데, 이러한 개념을 블록 전체로 확장하여 선정된 진입동선 및 회차지점, 주차장 접근로 설정 등의 방안을 고려할 수 있을 것이다. 이러한 진입동선 및 주정차 지점의 제한은 자율주행 자동차를 이용하여 출발지와 목적지를 직접 연결하는 Door-to-Door(D2D) 요구를 만족시킬 수 없다는 한계가 있다. 따라서 이를 보완하기 위해 블록 내부의 환경을 보행친화적으로 개선하는 방안도 병행하여 고려할 필요가 있다.

슈퍼블록 프로젝트 등은 이미 국내에 소개되었으나 실질적으로 블록의 교통과 공간적 변화를 추진한 사례는 거의 찾아볼 수 없는 상황이다. 하지만, 규정된 알고리즘에 의해 운행하며 낮은 시간가치를 갖는 자율주행 자동차가 도입이 되면, 우회도로에 대한 수용성이 높아져 그 실현 가능성이 높아질 것으로 기대할 수 있다. 시민들이 D2D 요구가 달성되지 않아도 만족감을 느낄 수 있도록 블록 내부의 보행환경 개선도 함께 이루어진다면, 자동차와 사람이 분리된 새로운 도시환경의 실현도 가능하리라 기대된다.



자료: raemian.co.kr 및 재구성

[그림 4-20] 아파트 단지의 회차 동선

마지막으로 건축물 단위에서는, 블록 내부로 진입한 자율주행을 최대한 수용하고 연계할 수 있는 필지 단위 건축계획이 필요하다. 캠퍼스를 가지는 학교시설이나 대규모

건축물의 경우 [그림 4-21]과 같이 저층부나 지하 공간, 주차공간을 활용하여 자율주행 자동차와 공유교통의 주정차 및 승하차 공간을 마련할 수 있을 것이다. 앞에서 언급한 블록 단위의 차량 진출입 동선을 고려하여 건축물 단위의 새로운 자율주행 자동차 수용 계획이 수립될 수 있도록 제도적 뒷받침이 되어야 한다. 이에 반해, 소규모 필지에서는 별도의 자율주행 자동차 수용공간을 확보하기가 어려울 수 있다. 이 경우 공공에서 기존의 공영주차장³⁹⁾ 등을 활용하여 자율주행차의 공동 승하차 공간을 블록 내부에 마련하고, 승하차 이후 자율주행 자동차가 인근의 부설주차장으로 이동하기 위한 이동 동선을 확보해야 하며, 공차주행 허용 등도 고려해야 한다. 승하차 공간에서 개별 건축물로 이동하는 보행의 발생은 앞에서 언급한 블록 내부의 보행환경 개선으로 보완해야 할 것이다.



[그림 4-21] 연세대학교 지하 승·하차 공간

현재 자율주행을 수용한 도시계획은 국가시범도시인 ‘세종 5-1생활권 스마트시티’, 3기 신도시 기본구상 공모 등이 자율주행 도입을 반영한 사례로 제안되고 있다. 세종 5-1생활권 계획을 살펴보면, 입지규제최소화지역을 지향하여 기존 용도지역제의 일반주거지역, 상업지역, 준공업지역을 모두 준주거지역으로 지정하고 있다([그림 4-22] 참조). 토지이용 측면에서는 업무·상업 기능을 우선 고려하면서 생활권 내에서의 이동은 자율주행셔틀, 퍼스널모빌리티서비스, 공유차 중심의 교통체계, 수요응답형 공공모빌리티 서비스 체계 등으로 처리하는 것을 계획하고 있다. 하지만, 현재 추

39) ‘대응방향 2] 서울의 주차공간 변화’에서 언급한 바와 같이, 해당 공영주차장(노외주차장)의 주차수요는 주변 부설주차장으로 이동하여 공영주차장 공간의 전환이 가능하다고 할 수 있음

진 중인 사업들은 도시교통과 도시공간의 근본적인 변화를 반영하기보다는 불완전한 자율주행 기술을 보완하는 운영환경을 구축하고 새로운 교통서비스를 시범적으로 도입하는데 그 의의를 찾을 수 있을 것이다. 이 연구에서는 자율주행 기술이 고도화된 경우를 전제로 도시교통과 통행행태의 변화를 전망하고 분야별 대응방향을 제안하였다. 특히 지금까지 논의가 더디었던 도시교통과 도시공간, 건축의 통합관리 방안을 제안하는데 큰 의의가 있다고 할 수 있다. 향후 더욱 다양한 분야의 연구자들이 협력하여 자율주행 시대를 준비하는 서울의 구체적인 모습을 실현하기를 기대한다.

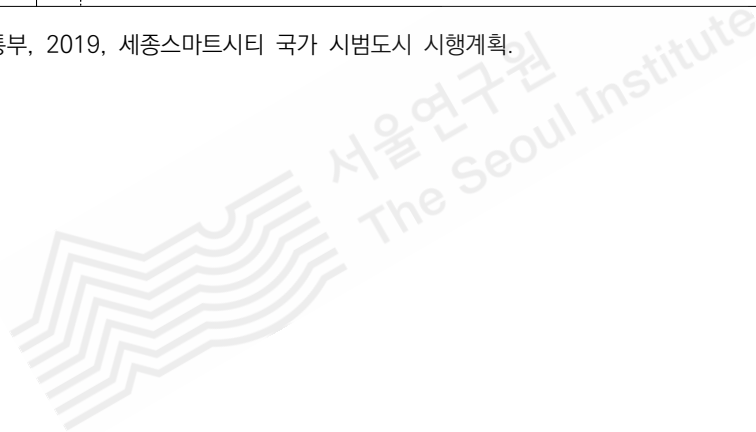


[그림 4-22] 세종 스마트시티의 새로운 토지이용 제안

[표 4-9] 세종 스마트시티 모빌리티 추진전략 및 시행계획

추진전략	시행계획
시민체감 모빌리티 서비스	1 공유기반 모빌리티 서비스 활성화를 통한 소유자동차 수준의 이동성 제공
	2 자율주행 모빌리티 도입을 통한 안전하고 편리한 이동 서비스 보장
	3 다수단 통합모빌리티 서비스 운영을 통한 Door-to-Door 단절 없는 통행 제공
	4 스마트 보행안전 서비스 제공을 통한 안전하고 쾌적한 보행환경 구축
모빌리티 융복합 도로 및 공간계획	1 토지이용과 연계한 도로망 및 공동 환승주차장 계획
	2 사람중심의 보행공간 및 보행체계 제공
	3 모빌리티 서비스 구현 융복합 공간계획 수립
모빌리티 생태계 기반조성	1 모빌리티 에코시스템 도입을 통한 모빌리티 생태계 기반 구축
	2 스마트 모빌리티 거버넌스 체계 구성
	3 스마트 모빌리티 법제도적 기반 정비

자료: 국토교통부, 2019, 세종스마트시티 국가 시범도시 시행계획.



05

결론 및 정책제언



05. 결론 및 정책제언

이 연구에서는 자율주행의 영향을 도시인프라, 통행행태, 도시 및 건축계획 등 서울의 도시 환경 전반에 걸쳐 전망하고, 자율주행 시대를 준비하기 위한 서울의 대응방향을 제시하였다.

우선 교통인프라의 변화를 전망하였다. 기존의 연구에서는 자율주행으로 도로의 용량이 증가하기 때문에 현재의 도로 공간을 다른 용도로 전환할 수 있을 것으로 예상하고 있다. 하지만 신호교차로의 영향을 받는 도심 단속류 도로의 용량 증가는 한계가 있기 때문에 현재와 같은 교통수요와 서비스 수준이 유지되는 경우 서울 도심 도로연장의 1% 미만인 편도 5차로 이상의 도로만 공간 전환을 고려할 수 있는 것으로 분석되었다. 반면에 자율주행으로 승용차 편익이 증가하고 시간가치가 감소하면 승용차 이용이 크게 증가할 것으로 예상되기 때문에, 도로 공간의 무분별한 전환을 고려하기 보다는 현재의 도로 공간을 자율주행 시대의 특성에 맞추어 보다 효율적으로 운영하는 방안을 마련하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

한편 자율주행으로 무인주차가 실현되면 주차장 용량이 크게 증가할 것으로 예상된다. 자율주행으로 승용차 이용이 증가하면서 주차수요가 증가할 가능성도 있으나, 도시교통체계를 공유교통(대중교통) 중심으로 전환하면 큰 폭의 주차수요 감소를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 특히 주차 용량의 증가는 기존의 상업, 업무 시설 부설 주차장이 집중되어있는 서울의 3도심 지역에서 크게 나타날 것으로 분석되어, 해당 지역 내에 분산되어 있는 주차공간과 주차수요를 시공간적으로 연계하는 ‘스마트 파킹’에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다. 한편, 현재에도 주차공간이 부족한 주거지는 공유교통의 도입 정도를 고려하여 지속적인 주차공간 확보가 필요한 것으로 나타났다. 자율주행으로 인한 용량 증가 효과를 극대화하기 위한 대규모 공동주차장 형태의 주차공간확보가 필요할 것으로 예상된다. 또한 향후 전기차 시대로의 전환을 고려하여 주차공간이 충전소의 기능도 함께 수행할 수 있어야 할 것이다.

앞에서 언급한 인프라의 개선 방향을 명확히 정립하기 위해서는 무엇보다 자율주행 시대의 도시교통체계가 지향하는 정책 방향의 설정이 필요하다. 자율주행이 제공하는 안전성, 쾌적성 등의 혜택이 개인 승용차 수단에 집중된다면 승용차 이용량이 크게 증가하여 현재의 혼잡한 도시교통 구조를 극복할 수 없을 것이다. 따라서 서울의 대중교통을 자율주행 기반으로 발전시켜 높은 서비스 수준을 갖춘 공유형 자율주행 교통체계를 구축하는 정책이 선행되어야 한다. 구체적으로는 공유형 대중교통 차량의 소형화, 인공지능(AI) 기반의 실시간 노선배정 기능을 포함하는 수요응답형 교통서비스 도입을 통해 공유형 대중교통의 서비스 수준을 획기적으로 향상시켜야 하며, 자율주행으로 인한 인건비 감소를 반영한 공유형 대중교통 요금의 인하도 적극적으로 검토해야 한다. 자율주행 기술 기반의 공유형 대중교통 중심의 도시교통체계 구축은 시민의 이동성을 차별 없이 보장하면서 사회 전반의 도시교통 최적화를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

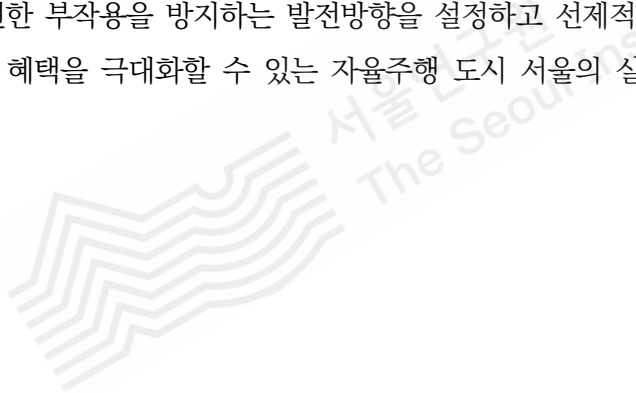
또한 자율주행으로 인해 예상되는 문제점에 대응하는 세밀한 도시교통운영 방안도 마련해야 한다. 향후 자율주행 자동차를 이용하는 시민들은 도로변에서 잦은 주정차 행위를 유발할 수 있는데, 이러한 행태는 도로의 이동성과 안전성에 큰 위협이 될 수 있다. 따라서 도로 성격과 지역 특성을 고려하여 자율주행 자동차의 주정차 제한 구역을 전면적으로 도입해야 하며, 이를 자율주행 알고리즘에 반영하여 이용자가 임의로 주정차하지 못하도록 법제도적 뒷받침이 되어야 할 것이다. 이처럼 제한되는 주정차 행위는 도시계획과의 연계를 통해 지역 내 공간에서 처리할 수 있는 방안을 마련하여, 시민 불편이 발생하지 않도록 해야 한다.

한편, 자율주행의 장점으로도 생각될 수 있는 자율주행 자동차의 ‘공차’ 주행에 대해서도 사회적 논의를 시작해야 한다. 공차 주행으로 서울의 도시교통체계에 상당한 자동차 운행거리(VKT)가 가중되어 막대한 사회적 비용을 유발할 수 있기 때문이다. 교통수단, 통행목적, 도로환경을 종합적으로 고려하여 합리적인 공차 주행 허용 범위를 결정해야 한다. 또한, 교통운영 최적화와 사유재산권을 고려하는 자율주행 자동차의 공공 관리(관제)범위도 설정해야 한다. 시민들이 기대하는 자율주행 시대의 최적 교통관리를 달성하기 위해서는 중앙관제식 교통운명을 통해 개별 자율주행 자동차의 정보를 실시간으로 수집하고 도출된 운영전략을 기반으로 자율주행 자동차를 제어해야 하지만, 이는 개인정보 보호와 사유재산권 존중 등의 원칙과 배치되기 때문이다. 도시교통의 공공성에 대한 재정립과 함께 사회 최적화를 위한 개인소유 자율주행 자동차의

관계 범위에 대한 사회적 합의가 필요하다.

무엇보다 자율주행의 영향을 도시교통으로 한정하지 않고, 도시계획 및 건축의 영역까지 확장하는 논의가 필요하다. 이 연구에서는 자율주행으로 인한 변화를 전망하고 이를 수용하기 위한 도시공간의 변화 방향을 지역 단위, 블록 및 지구 단위, 개별 건축물 단위로 구분하여 제시하였다. 지역 단위로는 개인소유 차량의 진입을 제한하고 공공 자율주행 교통체계 중심으로 운영되는 공공 자율주행 전용지역의 도입을 제안하였으며, 블록 및 지구 단위로는 자율주행 자동차의 새로운 특성을 수용하여 차량동선과 공간계획을 통합하는 지구단위계획의 필요성을 제시하였다. 이러한 지역과 지구의 개선안은 개별 건축물 단위의 자율주행 자동차 수용 방안과 맞물려 도시교통과 도시공간의 통합적인 운영 및 관리체계가 구축될 수 있을 것으로 기대된다.

위에서 언급한 서울의 대응방향을 실현하기 위해서는 교통, 도시, 건축 등 다양한 분야의 기능을 포괄할 수 있는 자율주행도시TF(Self-driving City Task Force) 등 통합조직이 필요하며, 각 분야의 전문가와 함께 미래 자율주행 도시 서울의 바람직한 발전 방향을 구축해야 할 것이다. 이 연구에서 제시한 승용차 이용 급증과 같은 자율주행으로 인한 부작용을 방지하는 발전방향을 설정하고 선제적인 정책을 펼친다면, 자율주행의 혜택을 극대화할 수 있는 자율주행 도시 서울의 실현이 가능할 것으로 기대된다.



참고문헌

- 국토교통부, 2019, 세종스마트시티 국가 시범도시 시행계획
- 국토교통과학기술진흥원, 2018, KAIA Insight, 자율주행자동차 국제기준 제정을 위한 안전기준 동향
- 국토해양부, 2013, 도로용량편람
- 김원호 외, 2018, 서울시 자율주행차 주차수요 관리방안, 서울연구원
- 박진우·최우철·김정화, 2022.4, 자율주행시대의 Flex Zone 도입과 입지 최적화 방안 연구: 수정된 MCLP 알고리즘 기반으로, 대한교통학회 제 86회 학술발표회
- 변완희 외, 2020, 자율주행자동차 시대의 주차장 및 도로 변화에 관한 연구, 토지주택연구원
- 서울시, 2014, 지속 가능한 도시교통 관리방안 연구
- 서울시, 2020, 서울시 주거지역 주차수요 관리를 위한 개선방안 연구 용역
- 서울시, 2021, 지속가능한 서울시 스마트 모빌리티 체계 구축방안 연구
- 서울시, 2021, 2021 서울특별시 차량통행속도 보고서
- 서울시, 2021년 시내버스 표준원가에 따른 운송비용 정산지침
- 서울시·인천시·경기도, 2020.12, 2020년도 수도권 여객 기·종점통행량(O/D) 현행화 공동사업
- 서울연구원, 2017, 진화하는 교통
- 유경상 외, 2021, 서울시 교통정보센터(TOPIS) 기능 재정립 및 발전방향, 서울연구원
- 이백진 외, 2017, 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구, 국토연구원
- 이승헌 외, 2021, 예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도부문 연구, KDI 공공투자관리센터
- 이신해 외, 2021, 뉴노멀 시대 준비하는 서울의 교통정책 방향, 서울연구원
- 천승훈 외, 2021, 2021 국가 교통정책 평가지표 조사사업 제3권 교통혼잡비용, 한국교통연구원

Bischoff, J., Maciejewski, M., 2016, Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in Berlin, *Procedia Computer Science*

Duarte and Ratti, 2018, The impact of autonomous vehicles on cities: A Review, *Journal of Urban Technology*

Steck F., 2018, How autonomous driving may affect the value of travel time savings for commuting, *Transportation Research Record*

Grush and Niles, 2018, *The End of Driving: Transportation systems and public policy planning for autonomous vehicles*. Elsevier

Harb et al., 2018, Projecting travelers into a world of self-driving vehicles: estimating travel behavior implications via a naturalistic experiment, *Transportation*

ITF(International Transport Forum), 2015, *Urban mobility system upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic*, Corporate Partnership Board Report. OECD

Kim et al., 2020, Will autonomous vehicles change residential location and vehicle ownership? Glimpses from Georgia, *Transportation Research Part D*

Luke Butler et al., 2020, Smart urban mobility innovations: A comprehensive review and evaluation, *IEEE ACCESS*

Mehdi N. et al., 2017, Designing parking facilities for autonomous vehicle, *Transportation Research Part B*

Milakis et al., 2018, Implications of automated vehicles for accessibility and location choices: Evidence from an expert-based experiment, *Journal of Transport Geography*.

NACTO, 2017, *Blueprint for Autonomous Urbanism*, 2nd Edition

Zhang, W., Guhathakurta, S., 2017, Parking spaces in the age of shared autonomous vehicles, *Transportation Research Record*

관계부처 합동, 2019, 미래자동차 산업 발전 전략 '2030년 국가 로드맵'

국민권익위원회, 2022, 공동주택 등 사유지내 주차갈등 해소방안

국토교통부, 2022, 미래를 향한 멈추지 않는 혁신 '모빌리티 혁신 로드맵'

내 손안의 서울

서울 열린데이터 광장

서울시 기후환경본부 보도자료, 2021.8.31.

서울시, 자동차통행관리시스템 차량 진·출입 자료

한국건설기술연구원 블로그, 2022.6.21, 자율주행시대 인프라 변화 방향
(https://blog.naver.com/feel_kict/222782095127)

ITS국가정보센터, 2021.4, 표준노드링크

<https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/supermanzanas/>

<https://www.cavnue.com/>

<https://www.designboom.com/design/audi-urban-future-initiative-11-20-2015/>

Boomerang Automated Parking Systems, 2017, Information on automated parking system

<http://www.e-globalparking.com/technology/>



Abstract

The Impact of Autonomous Vehicles on Urban Environment in Seoul

Youngjun Han · Seo-Yeon Yoon · Sangmi Jeong

Autonomous vehicles (AVs) not only can reduce traffic accidents and congestion, but also can change land use, architecture design and mode choice behaviours. In preparation for the age of self-driving vehicles, this study explores the impact of autonomous vehicles on various urban environment and suggests policy strategies for the city of Seoul.

First, we investigated changes of road space by AVs and found that current roads in Seoul might remain relatively the same even in the self-driving age. Significantly, downtown corridors affected by signalised intersections have limitations in increasing road capacity with AVs. Thus, less than 1% of roads in Seoul have potential to reduce one lane when traffic demand remains the same. Rather, traffic demand tends to increase significantly with AVs by increasing the utility of passenger vehicles and decreasing travel time value. With demand change and different user behaviours with AVs, road space needs to introduce additional space such as 'Flex Zone.'

On the other hand, parking space in downtown Seoul has potential to be shifted with AVs. Capacity of parking lots can increase with unmanned parking technologies, whereas parking demand will decrease significantly with shared-mobility services. Since attached parking lots with increased capacity can accommodate the parking demand, current on- and off-road parking

space in downtown could be converted to other land uses. The revenue from a land use transition could be utilised for reserving additional parking space in residential areas in Seoul that still suffer from parking space shortage.

This study also suggests that future transportation in Seoul should be a shared-mobility (or public transportation) oriented system in the age of AVs so that all citizens could share benefits of AVs together. If the traffic system is developed based on privately-owned AVs, traffic congestion in Seoul will be as severe as today. To have a shared-mobility-oriented system, the service level of public transportation should be improved with cutting-edge technologies such as demand response service and/or optimal dynamic routes by artificial intelligence. In addition, a substantial reduction in fare rate of Seoul public transportation should be considered to minimise social cost of traffic congestion with private vehicles.

Above all, changes by AVs should be addressed with an integrated system, including transportation, urban planning and architectural designs. Expected problems cannot be solved with only transportation view or physical infrastructure improvement. With an integrated system, Seoul can be a smart city that can solve current urban problems with an autonomous driving technology.

Contents

01 Introduction

- 1_Background and Objectives
- 2_Contents and Scope

02 Changes in Urban Transportation with Autonomous Vehicles in Seoul

- 1_Urban Road Space with Autonomous Vehicles
- 2_Parking Space with Unmanned Parking Technologies
- 3_Gas Station with Self-Driving Electric Vehicles
- 4_Implications of Urban Transportation Changes

03 Changes in Traffic Behaviors with Autonomous Vehicles in Seoul

- 1_Increase of Use for Passenger Vehicles
- 2_Changes of Regional Transportation in Seoul
- 3_Expectation of Urban Transportation System in Self-driving Age

04 Strategies for an Autonomous Driving City Seoul

- 1_Road Space in Seoul
- 2_Parking Space in Seoul
- 3_Urban Transportation Reform in Seoul
- 4_Traffic Operation Strategies in Self-driving Age
- 5_Integrated System with Transportation and Urban Planning

05 Conclusion and Policy Suggestions

자율주행 시대
서울의 도시환경 변화와 대응방향
서울연 2022-PR-22

발행인 박형수
발행일 2023년 3월 10일
발행처 서울연구원
ISBN 979-11-5700-734-9 93530 6,000원

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

이 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.