

자율주행 차량의 도입과 공유가 도시공간에 미치는 영향 분석: 주차수요를 중심으로*

Analysis of Impacts of Autonomous Vehicles and Car-sharing on Spatial Configuration in Urban Areas: Focusing on Parking Demand

장창호 Jang Changho**, 장재용 Jang Jaeyong***, 송재민 Song Jaemin****

Abstract

The emergence of autonomous vehicles(AVs) is expected to bring about dramatic changes in our cities, especially in the use of urban space caused by changes in parking demand. Although recent studies have attempted to estimate possible changes, not many quantitative studies have been done. Against this backdrop, our study aims to develop a set of scenarios, build a forecasting model for parking space, and analyze the changes in parking space for the case of Seoul Metropolitan Area. To this end, five scenarios have been identified based on literature review and the coefficients of the forecasting model for parking demand have been obtained using a log-linear model. In addition, relative availability of parking space has been assessed by comparing the current status with estimated parking demand. Our simulation results show that the impact of AVs on parking demand is heterogenous: if the supply of AVs increases without their sharing, parking demand would rather increase, while if they are shared, parking demand could decrease compared to BAU(Business-as-usual).

Keywords: Autonomous Vehicle, Car Sharing, Scenario, Prediction of Parking Demand, Urban Space

I. 연구의 배경 및 목적

교통수단은 역사적으로 도시의 발달과 도시공간구조의 변화, 사람들의 공간 인지와 활동 범위를 바꾸는 주요 요인으로 작용해왔다(Kaplan 2014; 서울연구원 2017). 특히 현재 활발하게 연구 및 개발이 진행되고 있는 자율주행차량의 도입은 도시의 사회, 경제 및 공간 이용에 있어 유례없이 큰 변화를 가져올 것으로

예측되고 있다. 다수의 자동차 기업들이 2020년까지 자율주행차량 상용화를 목표로 하여 자율주행차량 관련 기술은 빠르게 진보되고 있다(Chase 2016). 자율주행차량의 기술적 단계는 0~5단계로 구분되는데, 현재의 기술단계는 3단계로 응급 시에만 운전자가 조작해야 하는 수준이다. 2025년에는 운전자 조작 없이 주행 가능한 수준으로 기술이 발전될 것이며(4단계), 이 시기를 전후로 자율주행차량이 상용화될 것으로 기대

* 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2017R1C1B1004785).

** 서울시립대학교 도시공학과 학석사연계과정(제1저자) | Graduate Student, Dept. of Urban Planning and Design, Univ. of Seoul | Primary Author | ckdgh501@naver.com

*** 서울시립대학교 도시공학과 학부생 | Undergraduate Student, Dept. of Urban Planning and Design, Univ. of Seoul | foxpurple@naver.com

**** 서울시립대학교 도시공학과 부교수(교신저자) | Associate Prof., Dept. of Urban Planning and Design, Univ. of Seoul | Corresponding Author | jmsong@uos.ac.kr

되고 있다(서울연구원 2017). 해외에서도 2026년에는 100% 자율주행차량의 보급이 가능해지며 많은 기술적 문제가 해결될 것으로 예측되고 있다(Morgan Stanly 2014). 우리나라에서도 자율주행차량 도입에 대한 정책적, 학문적 관심이 늘어나고 있는 추세이다.

자율주행차량의 상용화는 도로용량, 교통사고, 주차수요, 차량소유 개념 등 교통부문 전반에 걸쳐 역사상 유례없는 변화를 가져올 것으로 예측되고 있다. 우선 자율주행차량은 차량들의 군집주행을 가능하게 하여, 도로용량이 최대 2.5배까지 증가할 수 있을 것으로 예측된다(Rodoulis 2014). 또한, 자율주행차량의 이용은 교통사고 발생을 감소시켜, 우리나라의 경우 약 5조 9천억 원의 사회적 비용을 감축할 수 있을 것으로 기대되고 있다(윤일수 2016). 이와 함께, 주차공간에 대한 수요가 감소하여 80%의 도심부 주차장이 사라질 것으로 예측되기도 했다(박영숙, 손 함순 2017). 더 나아가, 자율주행차량의 도입으로 차량 소유의 개념이 적극적으로 변화할 수 있는데, 차량을 더 이상 소유하지 않고 공유하는 ‘차량공유경제’가 활성화되어 모빌리티가 크게 늘어날 수 있을 것으로 예측되고 있다(서울연구원 2017). 이와 같은 변화들은 현재 도시 대중교통의 새로운 대안이 될 수 있을 것으로 예상된다(Heinrichs 2016).

이와 같이 자율주행차량은 도시의 사회경제 및 공간 등 다양한 영역에서 큰 변화를 가져올 것으로 보이며, 관련 기술의 빠른 발달로 미래 영향에 대한 연구 필요성 및 중요성이 증가하고 있다. 하지만 아직까지 미래 예측의 불확실성과 자율주행차량이 가져올 다양한 변화의 가능성으로 인하여 자율주행차량이 미래 사회에 미치는 영향에 대한 객관적이며 정량적 분석 연구는 많이 이루어지지 않았다. 기존의 국내 관련 연구는 주로 담론적 수준에 머물러 있거나, 외국 논문에서 인용된 수치를 제시하거나 경제·사회적 요인들에

대한 고려 없는 분석을 시도하였다.

이와 같은 배경에서 본 논문은 자율주행차량의 다양한 가능성을 고려하여 시나리오를 개발하고, 이에 기반하여 합리적인 주차수요를 예측하여 미래도시공간 변화 대응을 위한 객관적 분석결과를 제시하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 우선 미래 사회, 경제적 변화를 고려한 합리적인 시나리오를 개발하고, 둘째, 서울 대도시권 지역을 대상으로 주차수요 모델을 추정하여 시나리오별 주차수요를 예측하며, 마지막으로 주차자족률을 활용하여 공간 가용성을 예측하여 2030년과 2040년의 주차부족지역과 주차공간활용 가능 지역을 식별하고자 하였다. 본 논문에서는 자율주행차량이 야기할 다양한 변화 중 차량공유와 주차수요에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 검토

1. 자율주행차량

1) 자율주행차량의 개념, 현황 및 시장전망

자율주행차량(Autonomous Vehicle)이란 자동차 스스로 주변 환경을 인식하여 위험을 판단하고 주행경로를 계획하는 등 운전자 주행조작을 최소화하며 스스로 안전주행이 가능한 자동차를 말한다. 우리나라에서는 「자동차관리법」 제2조(정의)에 의거하여 ‘운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차’로 정의하고 있다. 자율주행차량은 센서나 통신을 통해 운전자의 인지범위와 반응시간을 향상시키고 교통사고를 줄일 수 있는 미래 교통수단으로 각광받고 있다(한국국토정보공사 2017).

자율주행기술은 출발지에서 목적지까지 주행경로를 계획하고 스스로 안전주행이 가능한지의 기술에

따라 0~5레벨로 구분된다(빈미영, 김영돈 2017). 현재 대부분 자동차 업계에서는 주행 기능의 보조적인 도움을 주는 레벨1의 자동차 또는 부분 자동주행이 가능한 레벨2까지의 기술까지도 제공하고 있다. 최근 주목을 받고 있는 구글, 테슬라를 포함한 국내외 업계에서는 레벨3의 자율주행기술을 개발하고 있으며, 자동차가 스스로 목적지까지 주행하는 레벨4의 단계를 2030년까지 상용화하는 것을 목표로 하고 있다(오성훈, 성은영, 이종민, 강현미 2017).

이러한 상황에 발맞춰 정부는 2015년 5월 ‘자율주행자동차 상용화 지원방안’에서 제도 및 인프라를 조기에 구축하여 자율주행 상용화 시기를 단축시키고, 2020년까지 레벨3에 해당되는 자율주행자동차 상용화 계획을 발표한 바 있다(한국국토정보공사 2017). 특히, 판교 제로시티에 국내 자율주행의 테스트베드를 구축하였으며 제주도에서 자율주행 정밀지도 구축을 위한 업무협약을 체결하였다. 이에 더해, 국토교통부(2015)에서는 ‘자율주행차량 상용화 지원방안 실행계획’에 따라 2018년까지 자율주행차량 시범운행을 위한 인프라를 구축하고, 2020년까지 자율주행차량의 판매와 실제 도로주행이 가능하도록 제도 보완 및 인프라를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

자율주행차량은 자동차 시장에도 큰 변화를 가져올 것으로 예상되고 있다. 국외 연구의 경우, 2020년부터 자율주행차량이 보급되고 2040년에 전체 차량의 약 40%가 자율주행차량이 된다고 예상하였다(Litman 2018). 국내 연구에서도 2030년 최대 30%, 2050년 최대 80%까지 자율주행차량이 보급될 것으로 예상한 바 있다(오성훈, 성은영, 이종민, 강현미 2017).

2) 자율주행차량이 가져올 물리·사회·경제적 변화

자율주행차량의 도입은 사회와 개인의 생활에 큰 변화

를 가져올 것이다. 윤일수(2016)는 자율주행차량은 공유경제의 활성화를 가져올 것이며 이용자의 운전 능력과 상관없이 무인 운영이 가능하기 때문에 카셰어링을 활성화시킬 것으로 전망하고 있다. 또한 평등한 이동권을 보호받지 못하는 교통약자의 이동을 증진시킬 수 있으며 고령화에 직면한 우리 사회에서 새로운 해법이 될 수 있다. 이와 더불어 자율주행차량의 도입으로 교통혼잡 해소와 통근시간 활용이 가능해질 것이다. 또한 자율주행차량의 도입은 교통사고 감소효과를 포함한 다양한 사회비용 절감의 경제적 효과를 창출할 것으로 기대되고 있다. 자율주행차량은 교통사고 사망률을 50% 감소시키며, 군집주행을 통한 대량수송으로 물류비용의 감축까지 기대할 수 있다(윤일수 2016).

자율주행차량은 자율주차 기능으로 주차공간의 전환을 이끌 것이라는 논의가 많다. 자율주행은 탑승자가 주차를 신경 쓸 필요가 없게 하며, 차량은 주차장을 찾아서 알아서 이동할 것이다(서울연구원 2017). 또한 도심에서 벗어나 저렴한 곳에서 주차가 이루어져 도심에서의 주차수요 면적은 줄어들 수 있다(Shoup 2005). Nourinejad, Bahrami, and Roorda(2018)은 자율주차 기능을 시뮬레이션하여 현재 대비 62%를 더 활용 가능한 주차장의 형태를 제시하기도 하였다. 하지만 다른 한편으로는 자율주행차량 주차장이 너무 멀리 있으면 주행거리가 길어지고 교통혼잡이 악화되는 문제가 발생할 수도 있을 것으로 예측하고 있기도 하다(Irving 2018).

3) 자율주행차량의 구매의사 및 구매수요

설문조사 결과 국내시장에 자율주행차량이 도입되었을 때 실제 운전자(1500명)의 44.6%가 이용할 의사가 있으며, 6.8%는 적극적으로 이용하겠다는 의사를 밝혔다. 또한 남성보다는 여성이, 청년층보다는 중장년층의 구매의사가 낮은 것으로 나타났다. 지불용의 측

면에서는 자율주행차량의 구매의사가 있는 응답자의 약 36%가 현재 자동차 가격의 약 1.5배 수준까지는 지불이 가능하다고 응답하였다(오성훈, 성은영, 이종민, 강현미 2017). 하지만 자율주행차량의 보급은 소득수준에 따라 보급속도에 차이가 있을 것으로 예상된다. 안기정, 김범식(2015)에 의하면, 소득이 높은 계층(월소득 700만 원 이상)이 소득이 낮은 계층(월소득 300만 원 미만)보다 높은 가격의 차량을 선호하고, 소득이 높을수록 자동차에 더 많은 소비를 하는 것으로 나타났다. 따라서 자율주행차량의 비용이 단기적으로는 일반 자동차에 비해 높을 것이라는 가정하에, 자율주행차량은 높은 소득수준 계층에게 먼저 상용화될 수 있을 것으로 예상된다.

2. 차량공유경제

1) 차량공유경제에 대한 정의 및 현황

차량공유는 카셰어링(Car Sharing)에 바탕을 둔다. 장원재, 박준석, 김동준(2008)은 자동차 공동이용을 사용자 입장에서 ‘이용이 쉬운 단기 자동차 렌트’로 정의하였으며, 추상호(2016)는 공동으로 이용 가능한 차량을 개인이 필요할 때 편리하게 이용할 수 있는 서비스 체계로 경제성·이동성·편리성을 갖춘 차량임대서비스라 하였다. 차량공유는 IT기술과 스마트폰의 발달로 인해 새로운 전기를 맞이하게 되며, 카셰어링의 편의성은 더욱 증대되었다(김점산, 박경철, 고진 2015). 앞으로도 차량공유경제는 전 세계적으로 급격히 성장하여, 2021년까지 차량공유를 3500만 명, 2030년까지 4억 명이 이용할 것으로 예측되고 있다(Bert, Colie, Gerrits and Xu 2016).

우리나라에서도 차량공유경제는 최근 들어 급격히 성장하고 있다. 2013년에는 서울시의 카셰어링 서비

스 ‘나눔카’가 도입되었고, 민간부문에서는 그린카와 쏘카가 양분하여 성장하고 있다(김점산, 박경철, 고진 2015). 최근에 발표된 KIRI 리포트에 따르면 모든 카셰어링 업체가 소유, 운행하고 있는 차량수는 2017년 기준으로 12,000대이며, 회원수의 합은 480만 명에 이르는 것으로 추정되었다(기승도, 이규성 2017). 공유경제형 교통서비스는 향후 개인승용차 이용의 새로운 유형으로 자리 잡을 가능성이 클 것으로 예측되고 있다(장원재, 박준석 2015).

2) 자율주행차량과 차량공유경제의 연관성

차량공유는 자율주행차량의 도입으로 더욱 활성화될 것으로 예상되고 있다. 자율주행 기술이 상용화되면 새로운 공유경제형 교통서비스가 등장할 가능성이 높다. 이는 무인 운송서비스가 가능해짐에 따라 현재의 차량이용 패턴, 공유경제 등이 크게 변화함을 의미한다(장원재, 박준석 2015). 한편, ITF and OECD(2015)에서는 공유 자율주행차량이 도시교통에 미칠 영향을 분석한 결과 자율주행차량의 도입은 차량공유경제를 이끌 것이며, 도시교통문제를 해결하는 가장 효율적인 대안이 될 수 있다고 밝혔다. 그러나 차량공유시스템이 적극적으로 도입되지 않고 대용량의 대중교통망과 연계되지 않는다면 오히려 차량의 총 통행량은 크게 증가한다는 부정적인 전망도 내놓았다. 이에 더해, 자율주행차량은 차량공유정책과 다르게 추진될 경우 오히려 자동차 판매 증대로 이어져 전체 교통량 또한 증가하는 악영향을 끼칠 수 있을 것으로 예상되기도 하였다(서울연구원 2017). 따라서 차량공유경제와 자율주행차량의 도입은 불가분의 관계이며, 부정적 영향을 줄이고 효용을 극대화하기 위해서 2가지를 동시에 고려하고 도입하는 것이 필수적이다. 임두빈, 장진영, 엄이슬(2018)에서도 차량공유의 성장은 자율주행

의 확대 시점과 맞물린 2030년 이후가 될 것이며, 자율주행은 차량공유의 편의성을 극대화하여 함께 시너지 효과를 낼 것으로 예측하였다.

자율주행차량의 도입으로 인한 공간 활용에 대한 최근 연구동향은 차량공유와 함께 이야기되고 있다. 자율주행차량으로 인한 새로운 주차공간 활용은 공유 자율주행차량이 핵심적인 요소로 작용할 것으로 전망하고 있으며(Skinner and Bidwell 2016), 자율주행차량을 소유가 아닌 공유함으로써 주차수요를 감소시킬 것으로 전망하였다(Metz 2018).

3. 주차수요 추정

1) 자율주행차량을 고려한 주차수요 추정

오성훈, 성은영, 이종민, 강현미(2017)는 자율주행차량의 도입이 주차수요에 미치는 영향을 분석하기 위하여 로그선형 주차수요 모형을 구축하고 주차수요의 변화를 추정하였다. 해당 연구에서 주차수요 모형은 2015년과 2016년 서울시 내 행정동별 자료 분석을 통해 선형 모형을 구축하고, 오직 통행량과 자율주행차량의 도입으로 인한 자동차 통행 특성만이 변한다는 가정하에 주차수요의 변화를 추정하였다. 모형은 주차수요를 대변할 수 있는 주차면수를 종속변수로 하였으며, 자동차 통행 특성인 유입통행량, 유입통행률 외에 사회경제지표(인구밀도, 고용밀도, 아파트 비율)를 독립변수로 설정하였다. 분석결과 자율주행차량 보급률이 5%일 때 1.8km², 10%일 때 3.6km², 15%일 때 5.3km², 20%일 때 6.9km²의 주차면적 감소효과가 있는 것으로 추정되었다. 그러나 자율주행차량이 도입된 만큼 지역의 유입통행량이 감소한다는 단순한 가정으로 수행되어, 실제 주차수요에 영향을 미치는 다른 요소들은 고려되지 않았다는 한계점이 존재한다.

2) 차량공유경제를 고려한 주차수요 추정

Zhang, Guhathakurta, Fang and Zhang(2015)은 시물레이션을 통해 가상의 도시에서 차량공유경제가 실현되었을 때 주차수요 변화를 예측하였다. 분석결과 공유 자율주행차량이 승객을 찾기 위해 5분 동안 크루징을 할 경우 총 주차수요의 90%가 감소하는 것으로 나타났다. 물론 가상 모형으로 실제 교통체증, 거리 등에 대한 현실적 고려가 미흡하다는 한계점이 있지만, 차량공유가 주차수요 감소를 가져온다는 사실을 확인할 수 있다. ITF and OECD(2015)는 리스본에서 공유차량이 도입되는 시나리오를 기반으로 연구를 진행하였다. 분석결과 공유 자율주행차량이 100% 공유가 된다면 대중교통 이용 비율이 높은 지역에서 94.6%의 주차수요가 감소되고, 최대 1.2km²의 주차공간 전환이 가능할 것으로 전망하였다. 하지만, 차량 상호간, 경제사회적 배경의 상호작용은 고려하지 않았다는 한계점이 존재한다.

4. 시나리오 개발

미래 예측에는 다양한 예측기법들이 있는데, 특히 예측과정에서 불확실성이 존재하는 경우에 많이 사용되는 방법은 시나리오 분석방법이다(임현, 한종민, 정민진 2009). Pillkahn(2008)은 미래 전략수립을 위해 다양한 시나리오 개발 방법을 제시하였다. 최소접근법은 대부분의 시나리오 연구에서 적용되는 방법으로 핵심 불확실성을 2가지 축으로 설정하고 4가지 유형의 시나리오를 도출한다. 보다 복잡하고 다양한 미래 가능성을 고려 가능한 방법으로는 표준접근법과 최대접근법이 있다. 표준접근법은 핵심 불확실성을 2개 이하로 단순화하기 어려운 경우 활용되며, 모든 미래 요소들을 불확실성과 영향력이라는 영역하에서 월슨 매트릭

스와 형태분석을 활용하여 시나리오를 도출하게 된다. 월슨 매트릭스 분석은 모든 변화요인을 불확실성과 영향력의 2가지 축으로 평가하는 방식이다(정재호 2006). 세부적으로는, 각각의 요소들을 불확실성과 영향력의 정도로 평가하고 미래에 대한 영향과 불확실성의 정도가 높은 요인들을 핵심 미래요소로 설정하게 된다. 이후 형태분석을 통하여 핵심 변화요인들의 변화를 매트릭스로 작성하고 연관성 있는 변화의 조합을 통해서 시나리오를 도출하게 된다. 한편, 최대접근법은 높은 자유도와 미지의 변수를 가진 주제를 대상으로 표준점

근법에 더하여 교차영향분석, 일관성 분석 등을 추가적으로 실시하는 방식으로 보다 정밀한 시나리오개발이 가능하지만 비용이 크다는 단점이 존재한다.

5. 소결

본 논문에서는 앞서 논의된 자율주행차량의 보급 및 이용에 관한 다양한 선행연구들을 바탕으로 시나리오 개발 및 주차수요 추정에 필요한 핵심요인 8가지를 <Table 1>과 같이 추출하였다. 해당 요소들은 자율

Table 1_ Influential Factors on the Use of Autonomous Vehicles(AVs)

Influential Factor	Related Research
Penetration Rate of AVs**	- In Korea, the percentage of AVs will reach 15% and 65% in 2030 and 2045 respectively(Oh, Seong, Lee and Kang 2017) - AVs will become commercialized in the late 2020 and they will account for 40% of the total vehicles sales in 2030(Lee 2017) - The spread of AVs is predicted to start in the early 2030(Yim, Chang and Yeom 2018) - The penetration rate of AVs could go up to 90% in 2040(Kim, Kim, Hong and Na et al. 2016)
Regional Deviation of AVs**	- As people get richer, more number of, larger and more expensive vehicles are preferred(Ahn and Kim 2015) - Willingness to pay for AVs is larger for high-income people(Nordhoff, Winter, Kyriakidis and Arem 2018)
Replacing Current Car(Replacing Public Transport)**	- Due to utility of AVs, the total traffic volume could increase(The Seoul Institute 2017) - If AVs and car sharing are not connected with a public transport networks, traffic may increase due to the increase of car usage(ITF and OECD 2015) - Traffic volume could increase because of a change in transportation mode from public transportation to the use of AVs(Park 2016)
Additional Car Demand by the Vulnerable*	- Convenience and economic benefits of AVs will enable elderly people, the disabled and minor to use more AVs(Park 2016) - AVs will contribute to the improvement of mobility of the transportation vulnerable group(Jo, Gu, Lee and Ryu 2016) - AVs will increase the mobility of the age group who is not currently driving a vehicles(Silberg and Wallance 2013)
Level of Car-Sharing*	- AVs will bring about car sharing economy(Yun 2016; LX 2017) - Cars will be shared by approximately 400 million people worldwide by 2030, showing a rapid growth. Furthermore, AVs will have a major impact on car sharing(Bert, Colie, Gerrits and Xu 2016) - Car sharing and AVs will grow together with synergy effects(Yim, Chang and Yeom 2018)
Efficiency of Car Use*	- Average usage of passenger cars is only around 1 hour, while they are parked during the most of other time(Bin and Kim 2017) - The emergence of AVs will enhance the efficiency of car use from 4% to 40%, and the parking duration will be reduced (Arbib and Sena 2017) - If AVs are commercialized, more than 90% of current traveling cars will not need anymore(Oh, Seong, Lee and Kang 2017) - Substitution effect of car per shared vehicles is described as 7.1 to 16.8(Kim, Park and Go 2015)
Change of Car Ownership**	- Concept of car ownership will be disappeared in future according to economic and social factors(Arbib and Sena 2017) - Car sharing will cause a decrease in the number of car registrations in the long term(Park, Jung and Moon 2014) - One Nanumcar in Seoul, a kind of sharing car, has an effect on reducing 8.5 cars(Ko and Ki 2015)
Change of Shared Vehicles Traffic**	- Car sharing has a direct impact on reducing traffic volume(The Seoul Institute 2017) - Car sharing are most likely to contribute to encourage the use of public transportation for commuting(Jang, Park and Kim 2008) - Car sharing and public transport are closely related to each other(Choo 2016) - Car sharing will have opposite impacts on people between with and without a private car in their use of public transportation and traffic volumes(Park, Jung and Moon 2014)

Note: * Used only in scenario development, ** Used both in scenario development and parking demand prediction.

주행차량의 도입으로 인한 장애 주차수요의 변화에 영향을 끼칠 것으로 판단되며, 시나리오의 도출과 주차수요 예측모형의 근거로 활용하였다.

III. 연구의 범위 및 흐름

본 논문에서는 가용한 추계데이터를 기준으로 자율주행차량의 도입으로 인한 주차공간의 변화에 대한 연구의 시간적 범위를 2030년과 2045년으로 설정하였다. 연구의 공간적 범위는 <Figure 1>과 같이 정희윤, 금기용, 김원주, 이신해 외(2014)에서 통근율과 역통근율을 통해 정의한 서울 대도시권을 차용하였다. 이는 자율주행차량으로 인한 공간적 범위는 통행과 연관성이 높기 때문이다¹⁾. 분석의 단위는 행정동을 기준으로 하였다. 본 논문의 흐름은 <Figure 2>와 같이 진행되었다.

Figure 1_Spatial Scope of the Study



Source: Jung, Geum, Kim and Lee et al. 2014, 39.

1) 서울 대도시권의 공간적 범위는 서울시 25개 자치구와 경기도 17개 시(광명시, 과천시, 하남시, 구리시, 남양주시, 고양시, 의정부시, 성남시, 부천시, 안양시, 김포시, 군포시, 의왕시, 양주시, 파주시, 광주시, 용인시)가 포함.

Figure 2_ Research Flow

Analysis 1: Scenario Development
Identify influential factors and develop scenarios using Wilson Matrix
Analysis 2: Prediction of Parking Demand
Develop a parking demand model and estimate parking demand in 2030, 2045 BAU and each scenario
Analysis 3: Simulation of Parking Self-Sufficiency and Availability of Parking Space
Simulate parking self-sufficiency and availability of parking space in 2030, 2045 BAU and each scenario
Conclusion
Summary of research results, suggestion and recommendation for future research

IV. 연구의 방법

1. 시나리오 도출

본 논문에서는 미래 예측의 불확실성을 해소하고, 합리적이며 객관화된 예측을 위하여 시나리오 분석을 수행하였다. 자율주행차량이 가져올 공간적 변화를 예측하는 것 또한 불확실한 영역이 매우 크므로 Pillkahn(2008)이 제시한 표준접근법을 이용하였다. 앞서 수행한 선행연구를 바탕으로 식별된 <Table 1>의 주요 요인들을 기반으로 표준접근법에 따른 형태 분석을 수행하였다. 선행연구를 토대로 각각의 요소들을 검토하고 변화의 종류에 따라 구분하여 매트릭스를 구축하고, 연관성 있는 변화의 조합을 문헌검토를 거쳐 시나리오를 도출하였다(<Figure 3> 참조).

우선, 자율주행차량 소유와 관련한 요소들로 자율주행차량의 보급률은 전체 차량 대비 자율주행차량의 비율을 의미한다. 자율주행차량 지역적 편차는 자율

Figure 3_Creating a Scenario through Combination of Changes in Key Factors

	a	b	c	d	e
Penetration Rate of AVs	During the early introduction of an AV, its supply is slow due to high price	AVs are getting popular	Most sales of cars are AVs, accounting for more than half of the total car market	All vehicles are replaced with AVs	
	10%	40%	65%	100%	
Regional Deviation of AVs	Regional deviation of AVs is small	Regional deviation of AVs is relatively at the appropriate level	Regional deviation of AVs is very large due to high price		
	σ	2σ	3σ		
Replacing Current Car (Replacing Public Transport)	AVs are owned and used only by the current users of private vehicles	Users of the public transport start owning and using AVs	Larger number of public transport users own and use AVs	Due to collapse of the public transport system, people own and use AVs	
	95% : 5%	90% : 10%	75% : 25%	50% : 50%	
Additional Car Demand by the Transportation Vulnerable	Only a few transportation vulnerable use AVs	Many transportation vulnerable purchase AVs and use them	Transportation vulnerable improve their mobility by using a car sharing	Most of transportation vulnerable use car sharing	
Level of Car-Sharing	Car sharing economy is not activated due to legal obstacle	Car sharing economy is partially activated	Car sharing economy has become popular in the society	Car sharing economy is common in the society	
Efficiency of Car Use	Efficiency of car use is the same as the current level	Efficiency of car use increases slightly due to sharing economy initiated by the enterprise	P2P car sharing become popular	The cruising system become activated, which enables cars to move continuously according to demand	
Change of Car Ownership	Car ownership pattern of AVs is the same as the current private cars	The concept of car ownership is beginning to gradually shift	Many people no longer own a car	Due to the rapid change of car ownership concept, most of people does not own a car	Car ownership increases with an increase in AVs
	-	-20%	-50%	-90%	+25%
Change of Shared Vehicles Traffic	Users of public transport begin participating in car sharing	Car sharing become universal, so the conversion ratio to shared vehicles is high	Many people use a shared vehicles instead of public transportation	Car sharing is not practiced	
	15% of public transport	25% of public transport	40% of public transport		
	'Growth'	'Stabilization'	'New Word'	'Introduction'	'The End'

주행차량의 보급이 가격에 민감하다는 가정하에 동별 공시지가의 표준화값(Z-Score)를 기반으로 시나리오 별 지역적 편차를 계산하였다. 기존차량 대체 비율은 기존의 일반 승용차가 자율주행차량으로 전환되는 비

율과 대중교통 이용통행 중에서 자율주행차량으로 새롭게 전환되는 통행의 비율을 말한다. 교통약자의 승용차 이용은 결과해석에 이용되는 부분으로, 교통약자들이 새롭게 통행에 참여하는 것을 말한다. 한편,

자율주행차량 이용 관련 핵심 요소는 자율주행차량이 차량공유로 이용되는 것이다. 본 논문에서는 차량공유경제의 활성화 정도를 4단계로 구분하고 각 단계에 따라 차량이용효율(차량 1대의 이용시간과 관련)과 차량소유의 변화를 이끌게 된다. 공유차량의 통행량 변화는 대중교통 통행이 공유 자율주행차량으로 전환되는 비율을 의미하며, 사람들은 공유차량과 대중교통을 함께 이용하고 두 수단은 서로 연계되어 있음을 가정한다. 각 핵심요인별 변화값은 선행연구를 기반으로 <Figure 3>과 같이 설정하였다.

본 논문은 자율주행차량과 차량공유경제의 연관성에 대한 선행연구를 검토하여, 자율주행차량만으로는 주차수요가 감소되지 않고, 차량공유로 이용되어 주차수요의 감소를 기대할 수 있다는 관점에서 시나리오를 개발하였다. 시나리오의 도출은 표준접근법(Pillkahn 2008)의 방법에 따라 추출된 미래요소들에 대한 문헌검토를 바탕으로 연관성 있는 변화의 조합을 통해 5가지 시나리오로 도출되었다. 5가지 시나리오오는 자율주행차량의 소유 및 이용 형태에 따라 각각 도입, 성장, 안정, 신세계, 종말 시나리오로 명명하였

으며, 핵심요소들의 변화값에 따른 각 시나리오별 시놉시스는 <Table 2>와 같다.

2. 주차수요 예측

자율주행차량의 도입으로 인한 주차수요의 변화는 오성훈, 성은영, 이종민, 강현미(2017)의 연구에서 사용된 로그선형모델을 이용하였다. 모형에 사용된 변수는 기존의 로그선형모델의 자동차 유입통행량과 자동차 통행량을 이용하고 사회경제지표(인구밀도, 고용밀도, 아파트밀도)는 주차발생량, 생산가능인구, 종사자, 승용차 등록대수로 대체하여 사용하였다(<Table 3> 참조). 주차수요 예측 모형을 구축하기 위해 2015년 자료 및 2030년, 2045년의 추계 데이터를 활용하여 2030년, 2045년의 추계 기준 BAU(Business-as-Usual) 주차수요를 추정하고 시나리오별 변화를 예측하였다. 주차수요 예측모형은 통행량 및 경제사회적 특성 반영을 위해 인문·주거 환경(생산가능인구, 종사자수), 지역적 특성(주차원단위 발생량, 표준공시지가), 차량 관련 지역 특

Table 2_Synopsis of Each Scenario

Scenario	Contents
Scenario 'Introduction' (P. Rate 10%)	South Korea has decided to introduce AVs according to global trend, and AVs is gradually spreaded to high income group. However, car sharing was not yet introduced due to legal and institutional obstacle.
Scenario 'Growth' (P. Rate 40%)	AVs are beginning to spread rapidly, and people of various social stratum use AVs. In accordance with global trend, car sharing economy has serviced B2B car sharing with a enterprise, so the conversion of car ownership concept is started.
Scenario 'Stabilization' (P. Rate 65%)	Most of vehicles on sale are AVs at now, and many people use the public transport and shared vehicles. Car sharing is completely encouraged by the government, and car ownership has decreased further by activating P2P sharing among individuals.
Scenario 'New Word' (P. Rate 100%)	Transportation in cities take a full paradigm shift. All vehicles in the city is replaced to AVs, and the concept related to vehicles is reestablished. Most of people use car sharing, and spatial concept of cities changes dramatically again because people no longer own a car.
Scenario 'The End' (P. Rate 40%/65%)	Although AVs were widely diffused, car sharing was not introduced due to legal, institutional obstacle and opposition of related industry. Purchasing and owning a car rapidly increase on account of utility of AVs, and the needs of facilities about vehicles are enhanced. Therefore, a lot of social problems occur.

Note: 1) 'P. Rate' refers to the Penetration Rate of AVs.

2) In Scenario 'The End', the years of P. Rate 40%, 60% are 2030 and 2045 each.

Table 3 _Description of Variables

Type	Variable	Unit	Description	Data Source
Dependent Variable	The Number of Parking Lot	lot	Parking Lot in the Building Ledger + Street Parking Lot + Off-road Parking Lot	Building Ledger of Electronic Architectural Administration Information System National Standard Parking Data
Independent Variable	Generating Amount of Parking(2018)	car	Parking Generation Unit through Classification from Ministry of Land, Infrastructure and Transport × Building Gross Floor Area	Road Name Address Developer Center_ Data Based on Road Name
	Working Age Population*	people	Population of 15 to 64 Years Old	KTDB Information Center_ Transport Analysis Data Socio-Economic Indicator
	Number of Employees*	people	-	
	Number of Car Inflow*	car	OD Material by Means of Transportation about Traffic Volume	
	Car Inflow Ratio*	%	Vehicle Traffic / All means Traffic	
Number of Car Ownership*	car	Number of Car Ownership by Administrative Region ('dong')		
Application Variable	Regional Deviation of AVs(2018)	-	Apply Deviation by Scenario to ZSCORE	Open Data Portal_ Standard Land Value of Individual House and Apartment House

Note: * Using a data of 2015, 2030 and 2045.

성(승용차 등록대수)를 반영하여 <식 1>과 같이 설정하였다.

$$\log(\text{주차면수}) = \alpha + \beta_1 * \text{자동차 유입통행량} + \beta_2 * \text{자동차 유입통행률} + \beta_3 * \log(\text{자가용 승용차 등록대수}) + \beta_4 * \text{주차 발생량} + \beta_5 * \text{중사자수} + \beta_6 * \log(\text{생산가능인구}) \quad \text{<식 1>}$$

행정동별 자동차 유입통행량은 수도권 전체의 교통존(행정동)에서 유출되는 통행량을 합산하여 계산하여 수도권 전체의 교통영향을 고려하였다. 또한 앞서 선행연구를 검토한 결과 자율주행차량의 보급은 소득에 따라 지역별로 다를 것으로 나타났다. 행정동별 소득 자료를 수집할 수 없었기 때문에, 소득에 대한 대리변수로 개별/공공주택 표준공시지가를 설정하고 이를 표준화하여 2030년, 2045년 시나리오별 자율주행차량의 보급률을 행정동별로 다르게 적용하였다. 또한 행정동별 자율주행차량의 보급률을 기반으로 자동차 유입통행량, 자동차 통행률, 승용차 등록대수를 다시 산정하였다. 시나리오별 주차수요의 계산은 기존 추세가 지

속된 경우인 2030년, 2045년의 BAU(Business-as-Usual)를 예측하고 BAU의 주차수요를 통하여 각각의 시나리오별 주차수요를 계산하는 단계적 과정을 수행하였다.

3. 주차자족률과 공간 가용성 예측

본 논문에서는 주차공간 수요 및 분포의 변화를 추정하기 위하여 주차자족률 개념을 도입하였다. 본 논문에서 주차자족률은 행정동의 주차면수 대비 차량 소유량으로(<식 2> 참조), 1을 기준으로 1보다 작으면 주차 여유지역을, 반면에 1보다 크면 주차 부족지역을 의미한다.

$$\text{주차자족률} = \frac{\text{행정동의 차량 소유량}}{\text{행정동의 주차면수}} \quad \text{<식 2>}$$

본 논문에서는 2030년, 2045년 BAU와 자율주행차량 보급에 따른 시나리오별 2030년, 2045년의 장래 예측연도의 주차자족률의 변화를 기준으로 서울시 대도시권 행정동을 4개의 유형으로 구분하였다(<Table 4> 참조)

Table 4_ Four Types of Parking Self-Sufficiency

Type	BAU	Scenario
Lasting Parking Abundance	Self-sufficiency<1	Self-sufficiency<1
New Parking Abundance	Self-sufficiency>1	Self-sufficiency<1
New Parking Shortage	Self-sufficiency<1	Self-sufficiency>1
Lasting Parking Shortage	Self-sufficiency>1	Self-sufficiency>1

V. 분석결과

1. 주차수요 예측

1) 주차수요 예측모형 구축

주차수요 최종 예측모형은 <Table 5>의 결과값을 바탕으로 <식 3>과 같이 도출되었다.

$$\log(\text{주차면수}) = 2.9 + 8.89 \times 10^{-3} \times \text{자동차 유입통행량} + 0.759 \times \text{자동차 유입통행률} + 0.418 \times \log(\text{자동차 등록대수}) + 0.1 \times 10^{-4} \times \text{주차 원단위 발생량} + 0.129 \times \text{중사자수} + 0.174 \times \log(\text{생산가능인구}) \quad \text{<식 3>}$$

각 계수들의 유의성을 보면 각 변수의 P-value는 충분히 낮아 영향이 유의미하며, F-statistics는 188.7로 도출된 회귀식이 전체에 대해 유의미하다. 또한, VIF 값이 낮아 변수들 간의 다중공선성 문제가 제기되지 않으며, Adjusted R-squared는 0.6005로 회귀직선에

Table 5_ Beta Coefficients of Variables

Variable	Beta	Std.error	t-value	Pr (> t)	VIF
Number of Car Inflow	0.00889	0.00259	3.43	***	3.93
Car Inflow Ratio(%)	0.75860	0.20210	3.75	***	1.89
Number of Car Ownership(log)	0.41770	0.05272	7.92	***	3.07
Generating Amount of Parking	0.00010	0.00002	5.46	***	1.33
Number of Employees	0.01291	0.00209	6.18	***	2.61
Working Age Population(log)	0.17390	0.04890	3.55	***	2.91
(Intercept)	2.90100	0.36240	8.00	***	

Note: Significant probability code '***' 0.001.

의해 총 변동 중 60.05%를 설명하는 것으로 나타났다 (<Table 5> 참조).

2) 장래 BAU(Business-as-Usual) 예측

본 논문에서는 시나리오 예측에 앞서 현재 추세가 지속될 경우의 BAU(현 상태 유지) 케이스를 우선 분석하였다. BAU 케이스는 시나리오에 따른 주차수요 변화와 비교를 위해 사용되었다. 주차수요 예측모형을 이용하여 도출된 2015년, 2030년 및 2045년 BAU 주차수요는 <Figure 4>와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 서울의 도심부보다 외곽의 읍·면지역에서 주차수

Figure 4_ Distribution of Parking Lots in BAU Case

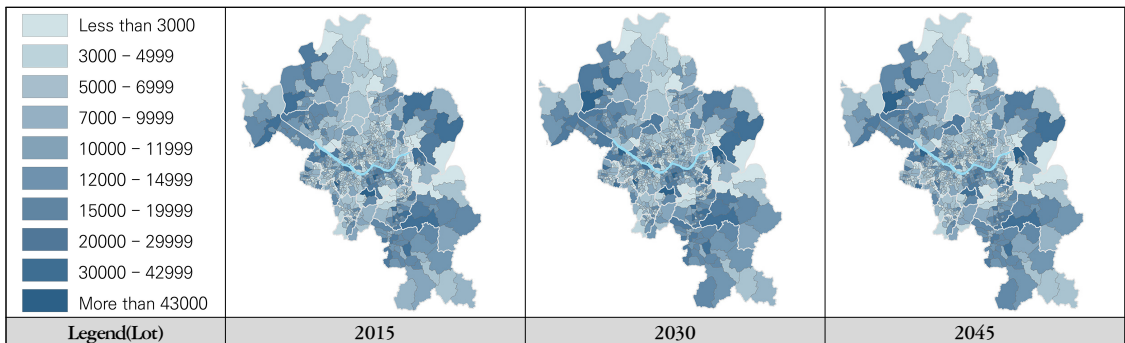


Table 6_The Number of Parking Lot in BAU

Variable	2015	2030	2045
Total(Lot)	6.89m	7.45m	7.0m
'Eup, Myeon, Dong' Average(Lot)	9195	9935	9334

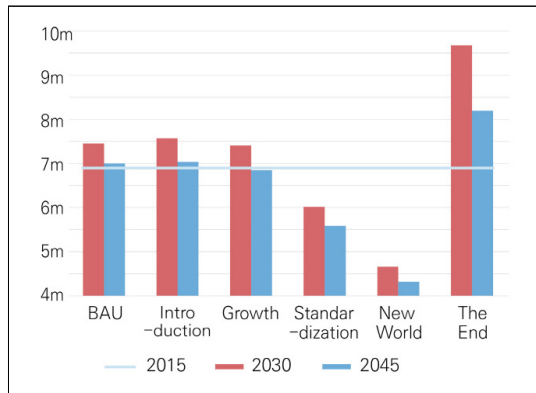
Note: 'm' means million.

요가 크게 나타나는데, 이는 경기도 외곽지역이 신도시 등으로 인하여 전국 읍·면 중 최상위권의 인구를 갖기 때문인 것으로 나타났다. BAU의 경우 그림에서 보이는 바와 같이 시간에 따른 분포의 경향은 유사하게 나타나나, 실제 주차면수 수요값은 <Table 6>와 같이 2030년에 큰 폭으로 증가했다가 2045년에는 오히려 감소하는 것으로 예측되었다. 이는 고령화 사회의 심화와 낮은 출산율로 인하여 현재 추세대로라면 2030년 이후 인구가 감소하기 때문인 결과로 해석될 수 있다.

3) 시나리오별 예측

시나리오별 2030년, 2045년의 총 주차면수의 변화는 <Figure 5>와 같다. 모든 시나리오에 대해 2030년의 주차수요가 2045년에 비하여 높게 나타나는 것은 공통적으로 고령화와 저출산으로 인한 인구규모 및 구조의 변화가 반영된 것이다. 한편, BAU 대비 주차수요의 감소는 '안정' 시나리오에서 관찰되기 시작하며, 특히 <Table 7>의 신세계 시나리오에서는 주차구획으로만 최소 30km² 이상 주차면적이 감소될 것으로 예측되어 실제로 더욱 큰 주차공간의 감소를 기대할 수 있을 것으로 나타났다.

Figure 5_Total Parking Demand by Scenario



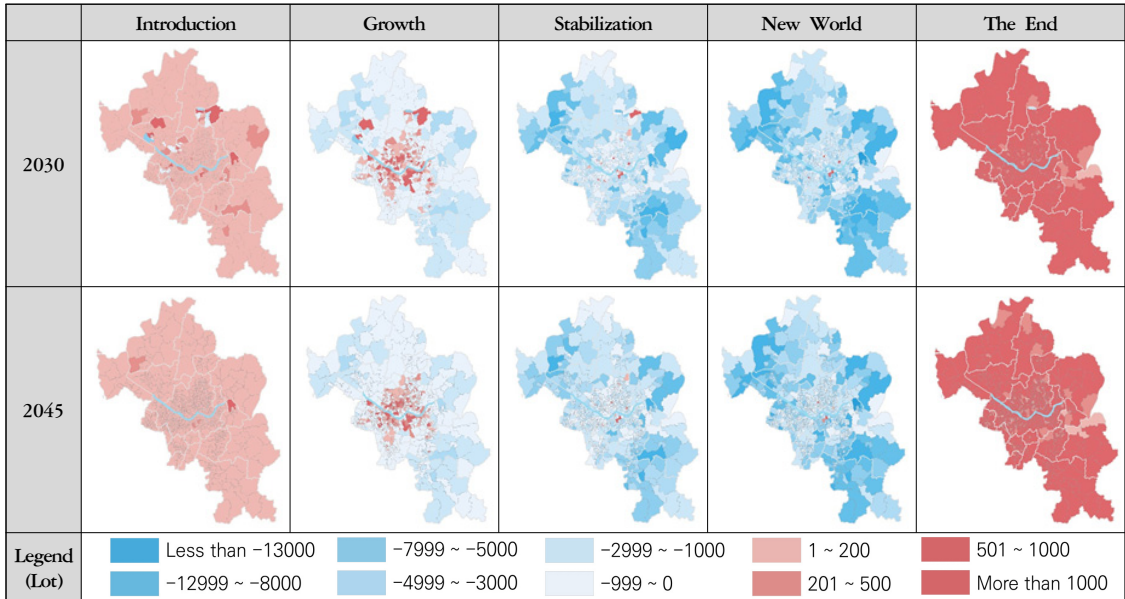
<Figure 6>은 2030년, 2045년의 시나리오별 지역적 주차수요 변화의 분포를 나타낸다. 도입 시나리오에서 대부분의 지역에 주차수요가 증가하게 되며, 성장 시나리오부터 경기도 외곽을 중심으로 주차수요가 감소하기 시작하고, 신세계 시나리오가 되었을 때 서울 대도시권 전역에서 전체 주차수요의 감소를 기대할 수 있다. 하지만, 종말 시나리오에는 전 지역에서

Table 7_Average Changes in Parking Demand

2030(year)	Introduction	Growth	Standardization	New World	The End
Average Change Ratio(%)*	0.42	-1.46	-18.14	-35.06	26.41
Average Change Area(m ²)	540	-2,088	-24,300	-45,996	34,248
Total Change Area(km ²)	0.04	-1.57	-18.22	-34.49	25.68
2045(year)	Introduction	Growth	Standardization	New World	The End
Average Change Ratio(%)*	0.41	-1.77	-18.28	-35.32	15.5
Average Change Area(m ²)	504	-2,448	-22,632	-42,900	19,128
Total Change Area(km ²)	0.37	-1.83	-16.97	-32.18	14.34

Note: * Average change ratio of parking demand by administrate region('Eup, Myeon, Dong').

Figure 6_Changes in Parking Demand by Each Scenario in 2030 and 2045



주차수요를 감당하기 힘든 수준으로 주차수요가 증가할 것으로 예측되었다.

한편, 선행연구 검토 결과 2030년과 2045년 가장 유력한 시나리오는 각각 도입과 성장 시나리오이다. 2030년에는 소수의 사람들이 자율주행차량을 이용하기 시작하는 도입 시나리오(보급률 10%)가, 2045년에는 자율주행차량이 차량공유로 이용되기 시작하는 성장 시나리오(보급률 40%) 또는 안정 시나리오(보급률 65%)가 유력할 것으로 예상된다. 각 유력 시나리오 및 주차수요에 있어 가장 극단적인 영향을 미치는 것으로 나타난 2045년 종말 시나리오 결과에 대해 조금 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

우선 2030년 도입 시나리오의 경우 도입 초기 교통약자들의 새로운 통행수요 등 새로이 유입되는 자율주행차량으로 주차수요가 소폭 증가하며 특히, 서울 외곽의 운정신도시와 다산신도시 등의 지역에서 주차수요가 증가할 것으로 예측되었다. 한편, 2045년 성장 시나리오에서는 경기도 외곽지역부터 주차수요가 감

소하는 양상을 보였다. 하지만 서울의 여의도, 강남 일대와 중구 등 3도심을 중심으로 오히려 수요는 증가하는 모습을 확인할 수 있다. 이는 중심부의 유입통행량이 자율주행차량으로 인해 증가하고, 자율주행차량의 지역적인 편차에 의해 서울 도심부에서 더욱 많은 자율주행차량이 보급된 결과가 반영된 것으로 판단된다. 나아가 2045년 안정 시나리오에서는 서울 대도시권 전 지역에서 주차장의 대체 활용을 기대할 수 있는 규모의 주차수요 감소가 이루어진다. 하지만, 선릉역과 강남역 일대의 주차수요는 여전히 증가하는 것으로 나타났다. 마지막으로 2045년 종말 시나리오의 경우 차량공유가 없는 자율주행차량의 도입은 현재에 비해 주차수요가 최대 2만 대 이상 증가할 지역이 등장할 정도로 서울 대도시권 전역에 심각한 주차문제를 유발시킬 것으로 분석되었다.

이와 같은 분석결과는 기존 연구들에서 자율주행차량의 보급과 동시에 전 지역에서 주차수요가 감소할 것이라는 결과와 달리 시나리오에 따라 BAU 대비

주차수요가 오히려 증가할 수도 있음을 보여주고 있다. 오성훈, 성은영, 이종민, 강현미(2017)는 영등포, 강남, 종로를 중심으로 주차수요의 큰 감소를 예측하였는데, 본 논문의 2045년 성장 시나리오의 경우에는 오히려 서울의 3도심과 강남역 일대에 주차수요가 대폭 증가할 수 있음을 확인하였다. 하지만 자율주행차량의 자율주차기능을 고려한다면 우선적으로 인접한 행정동 간의 주차 공유를 통하여 주차수요를 분산시킬 것이며, 증가한 도심부의 주차수요를 경기도 외곽 지역으로도 분산이 가능할 것으로 예상되었다.

2. 주차자족률과 공간가용성 예측

1) 장래 BAU 주차자족률 예측

우선, 시나리오 분석에 앞서 현재 및 추세데이터를 활용하여 2015년, 2030년 및 2045년 BAU 주차자족률을 산출하였다(<Figure 7> 참조). 그림에서 보이는 바와 같이 2015년에는 강북, 노원, 서울 서남부(영등포, 양천, 구로) 지역의 주차자족률이 낮으며, 2030년에는 경기 북부 도시(양주시, 의정부시, 남양주시)를 중심으로 주차자족률이 악화되는 것으로 나타났다.

이는 경기도 외곽의 신도시로 인한 차량소유의 증가가 원인인 것으로 분석되었다. 특히, 2045년에는 대부분의 서울지역과 경기도의 중심지 역할을 하는 읍·면·동 지역들의 주차자족률이 악화되어 대응책이 필요할 것으로 판단된다. 이와 같이, BAU 케이스 전반에 걸쳐 주차자족률이 악화되는 주요 이유 중 하나는 고령화이다. 주차수요 예측의 주요 변수 중 하나인 통행발생 원단위 변수의 경우, 노령인구의 통행발생 원단위는 매우 낮기 때문이다. 노령인구의 통행량 자체는 감소하지만 차량소유는 그대로 유지되는 경향이 있기 때문에 장래 주차부족 문제는 인구구조의 특성으로 인해 심화될 것으로 도출되었다.

2) 유력 시나리오 예측

본 논문에서는 각 시나리오별로 주차자족률을 계산하고 그 변화에 따라 앞서 논의된 바와 같이(<Table 4> 참조) 서울 대도시권의 주차자족률의 변화를 4가지 유형으로 분류하였다. <Figure 8>에서 보이는 바와 같이 2030년 도입 시나리오의 경우 기존과 유사한 공간적 군집패턴이 나타나며, 다수의 주차부족 지역이 유지된다. 하지만, 2045년 성장 시나리오에서는 서울

Figure 7 _ Changes in Parking Self-Sufficiency in BAU Case in 2015, 2030 and 2045

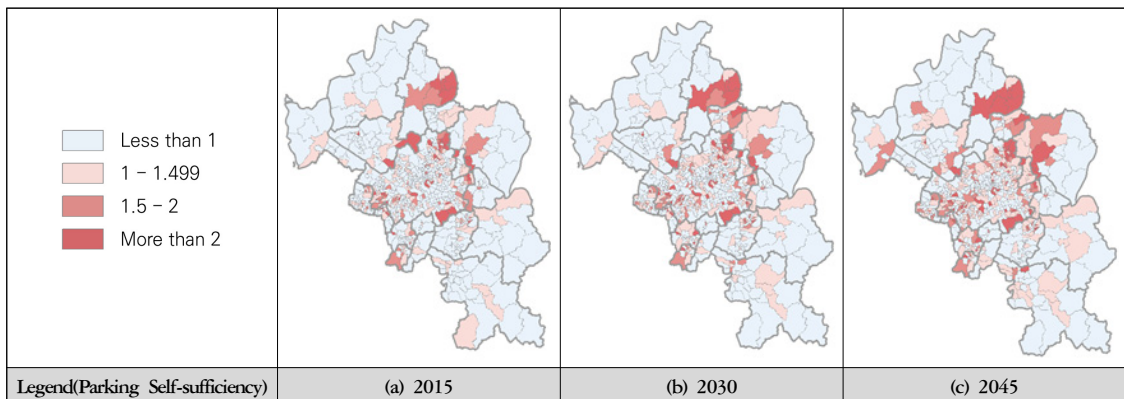
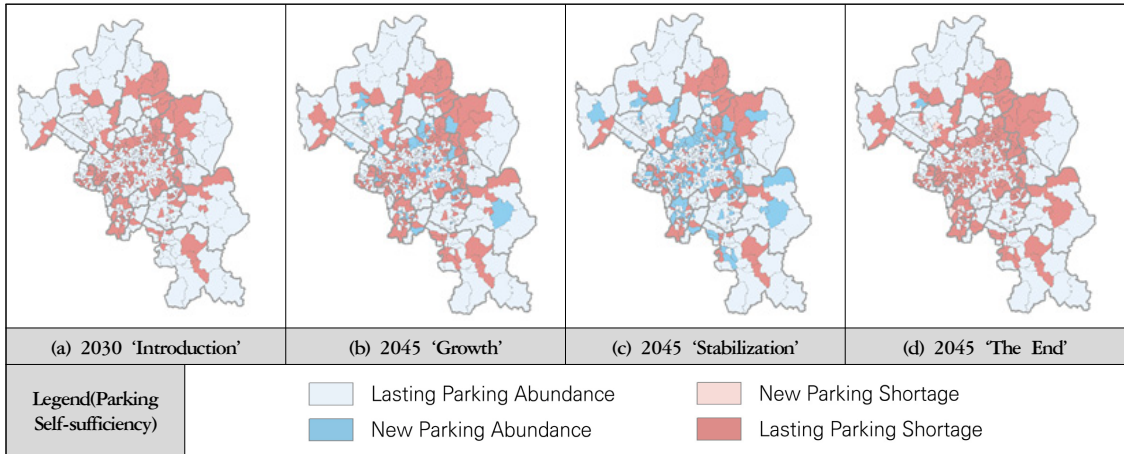


Figure 8_Projections on Parking Self-sufficiency under Different Scenario



북부, 강남, 서남부를 중심으로 주차공간 활용성이 점차 개선되는 것으로 나타난다. 더 나아가 2045년 안정 시나리오에서는 대부분의 강북지역, 관악, 영등포, 안양시를 중심으로 주차자족률이 개선되어 공간가용성이 큰 폭으로 개선될 것으로 예측되었다. 반면에, 2045년 종말 시나리오의 경우 경기도 외곽, 서울 도심 일부를 제외한 모든 지역에서 주차부족 문제가 심화될 것으로 나타났다. 이와 같이 자율주행차량의 도입과 동시에 차량공유로 차량소유개념이 전환되면 공간가용성이 크게 개선될 것으로 기대되며, 기존의 주차공간이 부족한 지역에는 주차공간 형평성의 개선이 이루어질 것으로 나타났다.

VI. 결론 및 시사점

본 논문에서는 자율주행차량의 도입과 차량공유로의 이용이 가져올 변화를 합리적으로 예측하기 위하여 선행연구를 바탕으로 시나리오를 개발하고, 주차수요 예측 모델을 구축하였으며 이를 바탕으로 서울 대도시권 권역 내의 읍·면·동에서의 주차자족률의 변화를 살펴보았다. 분석결과 및 정책적 시사점은 다음과 같

이 요약할 수 있다.

첫째, 선행연구 검토를 바탕으로 자율주행차량이 가져올 복잡한 미래를 예측하기 위하여 본 논문에서는 자율주행차량의 소유와 이용행태 관련 핵심요인들을 추출하고 이를 바탕으로 5가지 시나리오를 개발하였다. 핵심요인들은 자율주행차량의 보급률과 지역적 편차, 기존차량 대체비율(대중교통 대체율), 교통약자의 이용이라는 자율주행차량의 소유와 관련된 요인들과 차량공유경제의 활성화 정도, 차량소유의 변화, 공유차량의 통행량 변화, 차량이용효율이라는 자율주행차량 이용에 관련된 차량공유에 대한 요인이 고려되었으며, 각 요인의 변화가 선행연구를 기반으로 가정되었다. 본 논문에서는 선행연구를 기반으로 연관성 있는 변화의 조합을 거쳐 다음과 같은 시나리오를 도출하였다. 우선, 자율주행차량이 서서히 보급되기 시작하는 도입 시나리오, 자율주행차량이 보급되며 많은 계층의 사람들이 이용하는 성장 시나리오, 판매되는 대부분의 차량이 자율주행차량이며 차량소유의 개념이 전환되는 안정 시나리오, 모든 차량이 자율주행차량으로 대체되는 신세계 시나리오, 마지막으로 차량공유가 도입되지 않고 자율주행차량만 보급되는 극

단적 상황을 가정한 종말 시나리오가 개발되었다. 이와 같은 시나리오 개발은 물론 미래의 불확실성으로 완전하지 않으나, 향후 점차 활발해질 자율주행차량과 관련된 다양한 연구의 시작점으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 주차수요예측모형을 구축하고 개발된 시나리오를 바탕으로 2030년, 2045년의 BAU와 시나리오별 주차수요에 대한 분석을 수행한 결과, 기존 연구결과와는 달리 자율주행차량이 일정 수준 이상 보급되기 전까지는 오히려 주차수요가 증가하게 되며, 특히 자율주행차량이 공유차량으로 이용되지 않을 경우에는 대규모의 주차공간이 필요하게 되어 도시에 매우 큰 부담을 초래하게 될 것으로 예측되었다. 자율주행차량은 초기 높은 기술 비용으로 인하여 공유 형태의 이용으로 이어질 것으로 보이나, 자율주행차량의 도입과 차량공유에 사회, 제도, 정책적 준비가 필요하다. 특히, 장기적으로 자율주행차량의 가격이 감소되었을 때 급격한 개인소유 형태의 증가는 심각한 도시문제를 초래할 수 있음을 의미한다. 따라서 자율주행차량의 도입에 대해 범정부차원에서 보다 적극적인 대응책이 필요할 것으로 여겨진다.

셋째, 개발된 시나리오와 주차수요 예측치를 토대로 장래 주차공간의 전환이 가능한 지역을 파악하기 위하여 주차자족률의 개념을 통해 주차가용성을 거시적으로 분석하였다. 분석결과 현재 추세대로라면 점차 주차자족률은 악화될 것이며 자율주행차량과 공유차량의 도입을 통해 현재 불평등한 주차 형평성의 문제를 개선한다면 장래 주차공간의 새로운 활용이 가능할 것으로 예측되었다. 이는 도시의 많은 지역에서 겪고 있는 주차부족 문제의 해결책이 자율주행차량이 될 수 있음을 의미하며 주차공간 가용성이 큰 지역을 중심으로 주차공간 활용에 대한 계획을 수립할 필요성이 제기되었다.

결론적으로, 자율주행차량의 도입은 기존 연구결과와 같이 주차수요 감소로 인한 도시공간의 새로운 활용과 도시문제의 해결 수단의 긍정적 영향을 미칠 수도 있지만, 경우에 따라서 오히려 부정적인 영향을 가져올 수도 있는 것으로 나타났다. 따라서, 앞으로 자율주행차량 관련 기술, 정책 제도의 도입뿐만 아니라 현재 활성화 정도가 낮은 차량공유시스템과의 연계가 매우 중요하다. 이를 위해 공공과 민간의 영역 모두에서 향후 자율주행차량이 가져올 미래에 대한 대응이 필요하며, 자율주행이 가져올 변화와 함께 새로운 공간 활용방안을 계획하여 주거환경 문제의 해결책으로서 새로운 가치 창출의 기회로 자율주행차량을 적극적으로 활용하는 것이 바람직할 것이다. 또한, 자율주행차량은 차량공유를 위해 승객을 탐색하거나 주차를 위해 이동하는 과정에서 오히려 총 통행거리를 증가시킬 수 있으므로 이에 대한 영향이 향후 자율주행차량의 도입 과정에서 충분히 논의되어야 할 것으로 여겨진다.

또한 자율주행차량의 보급은 한국의 인구구조 변화의 관점에서 중요한 의미를 가진다. 자율주행차량은 노령인구의 이동성을 향상시켜 인구 고령화에 따른 교통대책 수립을 위한 효과적 대안이 될 수 있는 반면, 노령인구의 통행수요를 증가시킬 것이기에 교통수요 관리 측면에서 대중교통과 연계된 차량공유시스템의 도입이 반드시 필요하다. 또한 고령화와 생산가능 인구의 감소는 통행수단의 선택, 통행목적 및 거리 등이 현재와는 다르게 될 것으로 예상되며, 이에 있어 편리하고 비용부담이 낮은 자율주행차량의 공유 형태가 효과적인 교통수단으로 대두될 것으로 보인다.

본 논문은 미래에 대한 예측을 기반으로 분석을 수행하였고, 이로 인해 분석과정에 있어 불가피하게 많은 가정들이 사용되었으며 다중회귀모형의 구조적 한

계성 등으로 인하여 주차수요에 대한 예측치가 정밀하지 못하다는 한계점이 있다. 또한 자율차량의 선택적 주차능력이 고려되지 못했다. 하지만 이와 같은 한계에도 불구하고 자율주행차량시대의 도입과 관련된 미래를 예측하는 것은 미래 사회에 대한 적극적인 대응의 일환으로 매우 중요하다는 점에서 연구의 의의가 있다.

참고문헌 •••••

1. 고준호, 기현균. 2015. 공유도시 상징사업 나눔가 효과평가와 서비스의 운영방향. 서울: 서울연구원.
Ko Joonho and Ki Hyeongyun. 2015. *Seoul Car-sharing Service Evaluation and its Operation Strategies*. Seoul: The Seoul Institute.
2. 국토교통부. 2015. 자율주행차 상용화 지원 방안, 5월 6일. 보도자료.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2015. Supporting method for commercialization of autonomous vehicle, May 6. Press release.
3. 기승도, 이규성. 2017. 카셰어링 확산의 문제점과 제도개선 방안. KIRI Weekly 421호, 11-21. 서울: 보험연구원.
Gi Seungdo and Lee Gyusung. 2017. Problems of diffusion of car-sharing and improvement of system. *KIRI Weekly* no.421, 11-21. Seoul: KIRI.
4. 김점산, 박경철, 고진. 2015. 카셰어링의 사회경제적 효과. 수원: 경기연구원.
Kim Jeomsan, Park Kyungchul and Go Jin. 2015. *A Socioeconomic Effects of Car-sharing*. Suwon: Gyeonggi Research Institute.
5. 박영숙, 손 함순. 2017. 주거혁명 2030: 집은 더 이상 집이 아니다. 서울: 교보문고.
Park Youngsook and Shawn Harmsen. 2017. *Residential Revolution 2030: House is no longer home*. Seoul: Kyobo Book.
6. 박준석, 정동우, 문지혜. 2014. 승용차 공동이용(카셰어링)이 교통수요에 미치는 영향연구. 세종: 한국교통연구원.
Park Junseok, Jung Dongwoo and Moon Jihye. 2014. *A Study on Impacts of Car-sharing on Transportation Demand*. Sejong: The Korea Transport Institute.
7. 박형근. 2016. 자율주행자동차를 둘러싼 논란: 긍정적 효과 vs 뛰어넘어야 할 허들. 서울: 포스코경영연구원.
Park Heyonggun. 2016. *Controversy to Autonomous Vehicles: Positive versus negative*. Seoul: POSCO Research Institute.
8. 빈미영, 김영돈. 2017. 자율주행차 도입과 교통이용환경 변화 전망. 수원: 경기연구원.
Bin Miyeong and Kim Yeongdon. 2017. *Emergence of Autonomous Vehicle and Change to Environment of Traffic Use*. Suwon: Gyeonggi Research Institute.
9. 임두빈, 장진영, 엄이슬. 2018. 미래 자동차 권력의 이동. 삼정 Insight 56호. 서울: 삼정KPMG 경제연구원.
Yim Doobeen, Chang Jinyoung and Yeom Iseul. 2018. Movement of future power of car. *Samjong Insight* no.56. Seoul: Samjong KPMG Economic Research Institute.
10. 정희훈, 금기용, 김원주, 이신해, 김태현, 윤혜림, 현수현. 2014. 서울대도시권 지역행복생활권 발전구상 및 추진전략 연구. 서울: 서울연구원.
Jung Huiyoon, Geum Kiyong, Kim Wonju, Lee Shinhae, Kim Taehyun, Yoon Hyerim and Hyun Suhyun. 2014. *A Study of Development Planning and Strategy to Regional Settlement Areas of Seoul Metropolitan Area*. Seoul: The Seoul Institute.
11. 서울연구원. 2017. 서울의 미래 1: 진화하는 교통. 서울: 서울연구원.
The Seoul Institute. 2017. *The Future of Seoul 1: Evolving transportation*. Seoul: The Seoul Institute.
12. 안기정, 김범식. 2015. 서울시민 승용차 소유와 이용특성 분석. 서울: 서울연구원.
Ahn Kijung and Kim Bumsik. 2015. *Analysis of Seoul Citizen's Vehicle Ownership and User Characteristics*. Seoul: The Seoul Institute.
13. 오성훈, 성은영, 이종민, 강현미. 2017. 차세대 교통기술 발전에 따른 건축 및 도시공간의 대응방안 연구. 세종: 건축도시공간연구소.
Oh Sunghoon, Seong Eunyoung, Lee Jongmin and Kang Hyunmi. 2017. *Architectural and Urban Implications of New Transportation Technology*. Sejong: Architecture & Urban Research Institute.
14. 윤일수. 2016. 자율주행차가 가져올 사회경제적 변화. ITS Brief 38호. 서울: 한국ITS학회.
Yun Ilsoo. 2016. Socio-economic changes brought by autonomous vehicles. *ITS Brief* no.38. Seoul: Intelligent Transport System.
15. 이백진. 2017. 자율주행 자동차에 대한 소비자 교통계획 분

- 야의 대응과제. 국토정책Brief 600호. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
- Lee Backjin. 2017. Assignment to consumer transportation planning for autonomous vehicles. *KRIHS Policy Brief* no.600. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
16. 임현, 한종민, 정민진. 2009. 미래예측을 위한 시나리오 분석 및 시스템 구축방안. 서울: 한국과학기술기획평가원.
Im Hyeon, Han Jongmin and Jeong Minjin. 2009. *A Study of Scenario Analysis and System Building for Forecasting*. Seoul: Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
17. 장원재, 박준석, 김동준. 2008. 자동차 공유이용(Car-sharing) 시스템 도입방안 연구. 세종: 한국교통연구원.
Jang Wonjae, Park Junseok and Kim Dongjun. 2008. *A Study on Introducing Car-sharing Schemes*. Sejong: The Korea Transport Institute.
18. 장원재, 박준석. 2015. 공유경제시대의 교통체계 기본구상. 세종: 한국교통연구원.
Jang Wonjae and Park Junseok. 2015. *Potential Analysis of Sharing Economy Transportation Services and Realization Strategies*. Sejong: The Korea Transport Institute.
19. 정재호. 2006. 미래예측 방법론: 이론과 실제. 나라경제 10월호, 118-125. 서울: 한국개발연구원.
Jeong Jaeho. 2006. Forecasting methodology: Theory and reality. *Nara Economy* October, 118-125. Seoul: KDI.
20. 추상호. 2016. 카셰어링을 통한 교통시스템 혁신 전망. Future Horizon 30호, 11-14. 세종: 과학기술정책연구원.
Choo Sangho. 2016. Prospects of traffic system innovation through cascading. *Future Horizon* no.30, 11-14. Sejong: Science and Technology Policy Institute.
21. 한국국토정보공사(LX). 2017. 공간정보: 자율주행의 안전벨트. 전주: 한국국토정보공사.
Korea Land and Geospatial Informatix Corporation(LX). 2017. *Geospatial Information: Safety belt of autonomous vehicles*. Jeonju: LX.
22. 김재필, 김도향, 홍원균, 나현, 채승완, 민경식, 손지성. 2016. 2017년 ICT 10대 주목 이슈. 서울: KT경제경영연구소, 한국인터넷진흥원.
Kim Jaepil, Kim Dohyang, Hong Wonkyun, Na Hyun, Chai Seungwan, Min Kyoungsik and Son Jisung. 2016. *Prospect of Top 10 ICT Issues in 2017*. Seoul: KT Economic Management Research Institute, Korea Internet and Security Agency.
23. 조영신, 구분권, 이증기, 류영달. 2016. 자율주행 자동차의 대두와 사회문화적 변화. 서울: 한국정보화진흥원.
Jo Youngsin, Gu Bongwon, Lee Junggi and Ryu Youngdal. 2016. *The Rise of Autonomous Vehicles and Sociocultural Changes*. Seoul: National Information Society Agency.
24. Arbib, J. and Seba, T. 2017. *Rethinking Transportation 2020-2030: The disruption of transportation and the collapse of the internal-combustion vehicle and oil industries*. London: Rethink X.
25. Bert, J., Colie, B., Gerrits, M. and Xu, G. 2016. *What's Ahead for Car Sharing?* Boston: The Boston Consulting Group.
26. Chase, R. 2016. Self-driving cars will improve our cities if they don't ruin them. *Backchannel*, August 10.
27. Heinrichs, D. 2016. Autonomous driving and urban land use. In *Autonomous Driving: Technical, legal and social aspects*, 213-231. London: Springer Open.
28. Irving, T. 2018. How self-driving cars could shrink parking lots. *University of Toronto Engineering News*. March 28, <https://news.engineering.utoronto.ca/self-driving-cars-shrink-parking-lots> (accessed November 9, 2018).
29. ITF(International Transport Forum) and OECD. 2015. *Urban Mobility System Upgrade: How shard self-driving cars could change city traffic*. Paris: OECD.
30. Kaplan, D. H. 2014. 도시지리학. 김학훈, 이상을, 김감영, 정희선 역. 서울: 시그마프레스.
Kaplan, D. H. 2014. *Urban Geography*. trans. Kim hakhun, Lee Sangyul, Kim Kamyong and Jeong Huiseon. Seoul: Sigmappress.
31. Litman, T. 2018. *Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for transport planning*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.
32. Metz, D. 2018. Developing Policy for Urban Autonomous Vehicles: Impact on congestion. *Urban Science* 2, no.2: 33.
33. Morgan Stanley. 2014. *Autonomous Cars: Self-driving the new auto industry paradigm*. New York: Morgan Stanley.
34. Nordhoff, S., Winter, J. D., Kyriakidis, M., Arem, B. V. and Happee, R. 2018. Acceptance of driverless vehicles: Results from a large cross-national questionnaire study. *Journal of Advanced Transportation* 2018: 1-22.
35. Nourinejad, M., Bahrami, S. and Roorda, M. J. 2018. Designing Parking Facilities for Autonomous Vehicles.

Transportation Research Part B: Methodological 109: 110-127.

36. Pillkahn, U. 2008. *Using Trends and Scenarios as Tools for Strategy Development*. Paris: John Wiley and Sons.

37. Rodoulis, S. 2014. *The Impact of Autonomous Vehicles on Cities, Journeys: Sharing urban transport solution*. Singapore: Land Transport Academy.

38. Shoup, D. C. 2005. *The High Cost of Free Parking*. Chicago: Planner's Press.

39. Silberg, G. and Wallace. R. 2013. *Self-driving cars: The next revolution*. Amstelveen: KPMG International Cooperative.

40. Skinner, R. and Bidwell, N. 2016. *Making Better Places: Autonomous vehicles and future opportunity*. London: WSP.

41. Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J. and Zhang, G. 2015. Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand. *Sustainable Cities and Society* 19: 34-45.

- 논문 접수일: 2018. 10. 8.
- 심사 시작일: 2018. 10. 24.
- 심사 완료일: 2018. 11. 23.

요약

주제어: 자율주행차량, 차량공유, 시나리오, 주차수요예측, 도시공간

세계적으로 자율주행차량이 가져올 새로운 세상을 목전에 두고 있는 상황에서, 본 논문은 시나리오 개발을 통해 다양한 가능성을 고려하고, 서울 대도시권의 미래도시공간 변화를 주차수요 변화를 중심으로 예측하며, 주차자족률을 이용한 공간가용성 분석을 통해 자율주행차량의 도입에 대한 합리적 대응방안의 토대를 마련하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 표준접근법을 통한 시나리오 개발과 로그선형모델을 이용한 주차수요 예측모형으로 시나리오별 주차수요를 분석하고, 주차자족률을 통하여 지역의 실질적인

공간가용성을 분류하였다. 시나리오를 통한 분석결과, 자율주행차량의 보급만 증가한다면 오히려 주차수요는 증가하고, 자율주행차량이 차량공유로 이용되었을 때 비로소 주차수요가 감소하는 것으로 예측되어, 적절한 대응이 필요할 것이다. 또한 공간가용성이 큰 지역을 우선으로 도시공간의 활용이 가능해질 것으로 나타났다. 본 논문은 시나리오 개발을 통해 향후 분석의 기반을 마련하고 자율주행차량과 차량공유에 대한 적극적인 대응의 필요성을 제기하였다는 점에서 의의가 있다.

