

# 자율주행 대중교통서비스 이용 영향요인 연구: 판교제2테크노밸리 통근자 중심으로

빈미영<sup>1\*</sup> · 조창현<sup>2</sup> · 손슬기<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경기연구원 교통물류연구실 선임연구위원, <sup>2</sup>제이투엔플래닝 대표, <sup>3</sup>경기연구원 교통물류연구실 연구원

## A Study on the Influencing Factors of the Use of Autonomous Vehicle Transit Services: Focusing on the Commuters of Pangyo 2nd Techno Valley

BHIN, Miyoung<sup>1\*</sup> · JOH, Chang-Hyeon<sup>2</sup> · SON, Seulki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research Fellow, Department of Transportation and Logistics, Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi 16207, Korea

<sup>2</sup>CEO, Urban Design R&D, J2Nplanning, Seoul 03709, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Department of Transportation and Logistics, Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi 16207, Korea

\*Corresponding author: mybin@gri.re.kr

### Abstract

Several successful experiences of transit services using the autonomous vehicle technology become a trend in mega cities worldwide. Most discussions on such Autonomous Vehicle Transit Service (AVTS) are yet limited to technological issues and safety concerns. Potential providers of the AVTS are to assess the users' response to the AVTS in advance of the service launching. Existing studies typically attempt to find salient factors of the AVTS choice among pro-AVTS variables. However, the preference for the AVTS is, after all, a result of the comparison of the benefit between the AVTS and other transport modes. The paper aimed to develop a preference model by analyzing the data of preference for a transit with the AVTS for the journey to work, given characteristics of a car and a transit with the AVTS. The data is collected in 2019 from the commuters working in Pangyo 2nd Techno Valley of Gyeonggi Province, South Korea. The analysis found that the commuters prefer a transit with the AVTS for the lower AVTS fare and the commuting duration shorter than 30 minutes or longer than 90 minutes. The preference is also affected by the current mode use and personal characteristics.

**Keywords:** autonomous vehicle transit services (AVTS), commuters, pangyo 2nd techno valley, pangyo zero shuttle (PAZES), Plackett-Burman (PB) experimental design

### 초록

자율주행 차량 기술을 이용한 대중교통 서비스의 성공적인 사례들이 세계 여러 도시들에서 빠르게 확산되고 있다. 그러나 자율주행 대중교통 서비스(AVTS)에 대한 논의의 대부분은 아직 도 기술적 이슈나 안전에 대한 고려 등에 한정되어 있다. 무엇보다, AVTS에 대한 이용자들의 반응은 AVTS 공급 이전에 확인이 필요하다. 이에 관한 기존의 연구들은 주로 AVTS 이용에 따른 긍정적인 변수들 중 통계적으로 유의한 변수들을 선별해 내는 것이었다. 그러나 AVTS에 대한 선호는 결국 AVTS와 다른 교통수단 간의 이익을 전체적으로 비교한 결과에 따른다. 본 연구

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.38, No.6, pp.415-430, December 2020  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2020.38.6.415>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 7 July 2020

Revised: 6 August 2020

Accepted: 31 August 2020

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 Plackett-Burman(PB) 실험설계에 의해 구성된 선호 자료를 이용하여, 통근자들이 AVTS 포함 대중교통 수단에 대한 선호에 각 교통수단의 여러 가지 특성들 중 어떠한 것들의 영향을 받는지 분석하였다. 자료는 2019년 판교 제2 테크노밸리에서 근무하는 통근자들로부터 수집하였다. 분석 결과 통근자들은 저렴한 AVTS 요금, 전체 통근시간 30분 미만 혹은 90분 이상의 경우 AVTS 포함 대중교통 수단 이용을 선호하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 경향에 더해, 통근자들의 교통수단에 대한 선호는 현재 이용 교통수단과 개인 특성들에 의해 추가적인 영향을 받음을 알 수 있다.

**주요어:** 자율주행 대중교통 서비스(AVTS), 통근자, 판교 제2테크노밸리, 판교제로셔틀(PAZES), Plackett-Burman (PB) 실험설계

## 서론

커넥티드 자율주행 차량(CAV)은 4차 산업혁명 시대의 세계적인 이슈가 되고 있다. 정보통신 기술을 3차산업에 접목시킨 3차 산업혁명과 달리 4차 산업혁명은 정보통신기술에 의해 견인된 2차산업의 혁명적 발전을 기초로 모든 산업의 발전을 연결시키고 있다. 세계경제포럼은 4차 산업혁명을 3차 산업혁명에 기초한 디지털, 바이오, 물리학을 통합한 기술적 혁명이라고 정의한다(Schwab, 2016; <https://www.weforum.org>). CAV는 바이오산업과 함께 4차 산업혁명의 다양한 방향을 통합하는 미래 선도 산업으로 간주되고 있다(Kwak, 2019). CAV에 관한 대부분의 논의는 개인 승용차, IoT 등에 관한 것이 주를 이룬다.

자율주행 차량 이용 관련 연구 역시 Hong and Park(2011), Park et al.(2011), Krueger et al.(2016), Hidaka and Shiga(2018), Gkartzonikas and Gkritza(2019), Jang et al.(2019), Kamel et al.(2019), Vosooghi et al.(2019), Yoon et al.(2019), Narayanan et al.(2020) 등 그 연구 결과에 있어 질적, 양적 성장을 이루어 왔다. 이에 비해 자율주행 대중교통 서비스에 관한 연구는 상대적으로 매우 미흡한 상황이다. 이는 개인 승용차 단위의 자율주행은 개별 자동차 생산업자들의 주도로 개발하기 때문에, 기술적 진보에 대한 이슈에 집중하기 쉽지만, 대중교통을 기반으로 한 자율주행 서비스는 기술적, 재정적 어려움이 훨씬 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

자율주행 승용차는 기존의 승용차에 비해 대비되는 특징점이 매우 도드라지는데 반해, 자율주행 대중교통 수단은 기존의 대중교통 수단에 비해, 이용자 입장에서 특별한 이점이 발견되기 어렵다. 대표적인 예로, 자율주행 승용차가 기존 승용차에 비해 차내활동을 보장하고 운전 기술 숙지의 노력으로부터 해방되는 획기적인 이점을 제공하는 반면, 자율주행 대중교통수단은 기존 대중교통수단에 더해 특별한 이점을 제공하는 것으로 보기 어렵다.

그럼에도 불구하고, 최근 몇몇 혁신적인 도시들이 자율주행 대중교통 서비스(Autonomous Vehicle Transit Service, 이하 AVTS) 운행에 성공하고 있음이 널리 알려지고 있다. 로테르담의 파크셔틀, 헬싱키의 로보버스, 뉴욕의 옵티머스라이드, 노이하우젠 라인폴의 트라피지오 등이 그 사례이다. 이는 자율주행 대중교통 차량을 소형화하고, 통근통행 여정 전체가 아닌 퍼스트마일이나 라스트마일을 담당하는 방식을 취함으로써, 대중교통 이용에서 취약한 최초 승차지 및 최종 목적지에의 접근성을 획기적으로 향상시킨 결과라 할 수 있다. 자율주행이 전체 대중교통 여정의 전부가 아닌 일부만을 담당하는 것은 기술적, 상업적 이유가 큰 것으로 파악된다. 이러한 퍼스트/라스트마일 방식의 AVTS 제공은 이제 세계의 거대도시들에서 하나의 트렌드가 되어 가고 있다. 본 연구는 최근 실용화 사업을 시작한 판교제로셔틀 서비스의 평가와 관련하여, 위에서 언급한 연계 대중교통수단의 일부로서의 퍼스트/라스트마일 중심의 자율주행 대중교통 서비스 이용 분석에 초점을 두고자 한다.

## 선행연구 검토

### 1. 자율주행 교통수단 선택에 대한 영향요인 분석 연구 방법

자율주행 대중교통 서비스(AVTS) 연구의 많은 부분이 아직은 기술적 측면과 안전 이슈에 치중하고 있는데, 이는 교통사고와 편안함의 정도(level of comfort)에 대한 현재의 AVTS 발전의 기술수준에 기인한다(US DOT, 2018; Department of Motor Vehicles, 2019). 이와 관련된 국내의 연구로, 경기도는 최근 판교 제2테크노밸리에서 테스트 운행을 시작한 자율주행 셔틀버스의 안전성을 이용자들이 어떻게 평가하는지에 대한 연구를 수행하였다(Gyeonggi Research Institute, 2017; Gyeonggi Province, 2019; Gyeonggi Research Institute, 2020). 이와 같은 연구는 자율주행 교통수단의 시작인 기술 고도화에 초점을 두고 있다.

또 다른 방향의 연구 주제는 자율주행 교통수단의 새로운 기술을 이용자들이 얼마나 잘 받아들일까를 평가하는 것이다(Boesch and Ciari, 2015; Fagnant and Kockelman, 2015; KPMG, 2015; Litman, 2016; Lee et al., 2017; Lee, 2017). 이 주제는 시장에서의 성공 정도나 민간에 의한 정책 수용성의 정도를 예측하기를 원하는 AVTS 공급자들에게 특히 중요한 의미를 갖는다. 이로 인해 많은 연구가 시작되어, AVTS 도입에 따른 여러 가지 시나리오 및 미래 교통수단 선택 문제를 들여다보게 되었다. 여기서 가장 중요한 질문은, AVTS로의 교통수단 전환 확률은 어느 정도이며, 전환의 이유는 무엇일까 등이다. 이 질문에 대한 해답은 서비스 공급자들이 서비스의 구체적인 특성에 따른 AVTS에 대한 잠재적 수요를 평가하는데 큰 도움이 될 것이다.

교통수단 대안선택 분석에는 이산선택모델이 광범위하게 사용되어왔다. 이 모델들은 revealed preference(이하 RP) 혹은 일정 실험 조건에서의 stated preference(이하 SP)에 대한 추정을 수행한다(Ben-Akiva and Lerman, 1985). SP 모델들은 SP 조사 자료에 근거한 잠재계층분석을 적용하기도 한다(Morikawa and Sasaki, 1998). 이 모델들은 주로 새로운 대안의 도입에 대한 잠재적인 반응을 관련 변수와 연관 짓는다. RP 모델에 비해 SP 모델이 더욱 광범위하게 사용되는데, 이는 새로운 대안은 아직 시장에 나오지 않은 것이어서, 응답자가 가상의 환경에서 대안을 선택, 평가하도록 할 수 있기 때문이다.

문제는 새로운 기술 도입에 따른 교통수단 전환의 크기와 그 이유를 분석할 때 그 영향요인을 어느 수준까지 고려하는가 인데, 이는 연구자의 관점과 역량에 따라 달라진다는 점에 있다. 일반적으로 둘 또는 그 이상의 대안이 선택의 대상으로 고려될 때 각자는 하나의 완전한 대안으로서 비교 및 선택된다. 대부분의 SP 모델들이 이 문제를 탁월하게 해결해 왔다. 그러나 직주분리에 의해 장거리의 복잡한 통근통행이, 일반적인 거대도시에서 자율주행 대중교통 서비스가 전체 통근통행의 여정을 모두 담당하는 것은 현재의 기술 수준으로 그다지 현실적이지 않기 때문에 자율주행 대중교통 서비스는 그 자체로 완전한 하나의 대안으로 고려되기 어렵다. 승용차가 전체 통행을 책임지는 단일 교통수단인 것과는 달리, 자율주행 대중교통 수단은 전체 통행 중 퍼스트마일/라스트마일과 같이 전체 통행 여정의 일부만을 담당하고 나머지는 기존의 대중교통 수단을 그대로 이용해야 하는 복합교통수단을 구성하는 것이 일반적이다. 따라서 승용차의 대안으로서의 새로운 대중교통 수단은, 자율주행 기술이 담당하는 부분의 수단 특성 및 자율주행과 연계되는 기존의 대중교통 수단 특성 등 두 가지를 함께 고려하여야 하는데, 이에 대한 체계적인 노력을 기존 연구 분석에서 찾아보기 어렵다.

### 2. 기존 연구와의 차별성

본 연구가 갖는 기존 연구와의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 본 연구의 선호 모델은 AVTS에 우호적인 변수들 외에 다른 다양한 변수들을 함께 고려한다. 일반적으로, 특정 교통수단에 대한 선호는 경쟁 중의 대안들이 갖고 있는 관련 변수들을 비교함으로써 형성된다. 교통수단으로서 승용차 이용을 선호하는 것은 승용차 이용으로부터 얻는 이익만을 고려한 결과라기보다는, 대중교통을 이용함으로써 경험하는 불이익을 함께 고려하는 방식으로 이루어진다. 마찬가지로, 대중교통에 대한 선호 역시 대중교통 이용으로부터의 직접적인 이익에 더해 승용차 이용의 불이익을

함께 고려한 결과이다. 따라서 AVTS 선호에 관한 연구는 승용차와 대중교통 모두의 관련 변수들을 통합적으로 고려하는 것이 필요하다.

둘째, 본 연구의 AVTS를 포함한 대중교통 선호 모델은 통근 동안의 모든 통행을 고려한다. 승용차와 달리, 대중교통수단은 한 번의 통근에서 환승을 포함하여 여러 번의 통행들이 벌어지는 일이 자주 있다. AVTS는 여기서 그러한 통행들 중 하나이다. 따라서 AVTS를 선호하는 것에 대한 평가는 전체 대중교통 수단 이용의 맥락에서 이루어져야 한다. 이것은 통행 분석의 활동기반 접근법을 고려할 때 특히 의미가 있다. 이 접근법의 중요 개념 중 하나는, 하나의 통행은 하루 일과 수행의 과정에서 연관된 통행과 활동들에 의해 영향을 받는다는 것이다(Timmermans et al., 2002). 따라서 대중교통과 승용차 간의 상대적 이익을 비교할 때, AVTS에 대한 연구는 대중교통을 이용한 통근통행의 일부분으로서의 AVTS 이용의 맥락을 읽어내야 한다. 본 연구는 이상에서 논의된 여러 가지 주의 사항들을 고려하여 AVTS 선호 모델을 연구하는 데 목적을 둔다.

## 문제점 진단과 연구방법

### 1. 문제점 진단

자율주행 승용차의 이용을 분석하는 것과 자율주행 대중교통 서비스(AVTS)의 이용을 분석하는 것 간에는 분명한 차이가 존재한다. 자율주행 승용차는 대부분 기존의 승용차 이용에 대한 대안으로 고려된다. 따라서 자율주행 승용차의 상대적인 이점으로는 차내활동 가능 및 운전이 불필요한 자동 내비게이션 등이 꼽힌다. 이와는 달리, 자율주행 기술을 갖춘 대중교통수단은 그러한 이점을 내세우지 못하는데, 이는 그러한 이점들이 이미 기존의 전통적인 대중교통 서비스에서 제공되고 있기 때문이다. 승객들은 버스나 지하철로 이동 중에 객차 안에서 이미 책을 읽고 있거나 개인적인 용무를 보고 있다. 승객이 스스로 운전을 할 필요가 없기 때문이다. 따라서 기존의 AVTS 관련 연구들은 주로 자율주행 기술 수준, 안전 이슈, 무운전의 비용 절감으로 가능해진 높은 서비스 빈도 등의 이슈들에 초점을 두고 있다. 그렇다면 문제는, 가까운 미래의 실용화에 따른 수요 추정을 위해, 이용자가 자신들의 관점에서 AVTS를 어떻게 특징짓는가를 이해하는 데 있다.

본 연구는 AVTS에 대한 이용자의 선호는 승용차 이용의 편익과 AVTS 포함 대중교통 이용의 편익 간의 비교의 결과로 얻어지는 것이라고 간주한다. 이는 AVTS가 전체 대중교통 통행의 한 부분에 불과한 것임을 강조하는 것이다. 거대도시에서의 통근통행은 장거리 통행이 보다 일반적이다. 현재의 자율주행 기술수준으로서는 AVTS만으로 전체 통근통행을 담당한다고 가정하는 것은 일반적으로 비현실적이다. 따라서 교통수단 간 비교는 승용차와 AVTS 간에 이루어지는 것이 아니라, 승용차와 AVTS를 포함하는 대중교통 간에 이루어진다고 보아야 한다. 대중교통 수단의 특성에는 AVTS의 특성들뿐만 아니라 AVTS와 연계된 다른 대중교통 수단들의 특성도 함께 포함되어야 한다. 예를 들어, AVTS가 장거리의 기존 대중교통 통행의 마지막 정차와 환승 이후에 최종 목적지까지의 최종 교통수단으로서 제공된다면, AVTS 포함 대중교통수단 선호 모델은 기존 대중교통의 다양한 특성들을 AVTS의 특성들과 함께 고려해야 한다. 모델은 물론 승용차 이용의 특성들 역시 함께 고려해야 한다.

선호는 또한 교통수단 특성 그 자체에 더해 다양한 측면들에 의해 영향을 받는다. 가장 우선적으로는, 승용차와 AVTS를 포함하는 대중교통 수단 간의 특성 비교가 중요하다. 그러나 개인의 특성과 현재의 통행행태 역시 교통수단에 대한 선호 구성에 중요한 역할을 한다. Figure 1은 이러한 관계들을 표현하고 있다. 본 연구는 우선 교통수단에 대한 선호와 AVTS 포함 대중교통의 특성 및 승용차 특성 간의 전반적인 관련성을 살펴본다. 그 다음으로 개인 특성과 현재 통행행태에 따라 응답자를 분류하여, 분류된 응답자 간 선호 구성에 차이가 있는지 검토한다.

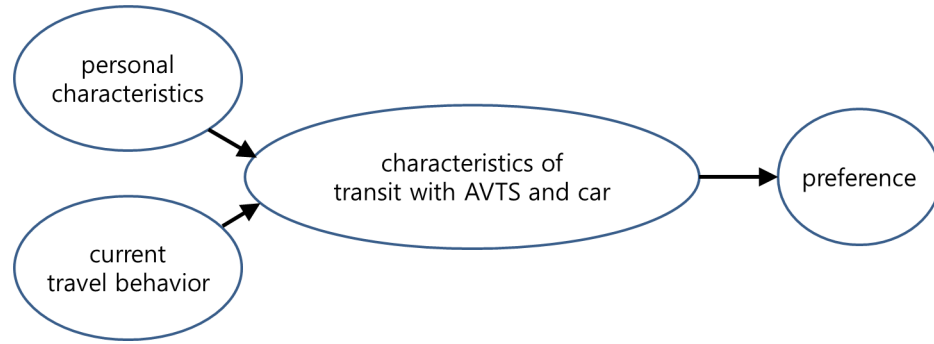


Figure 1. Conceptual view of the mode preference for a car and a transit with the AVTS

## 2. 연구방법

모델링의 핵심은 특정 교통수단에 대한 선호에 유의한 영향을 미치는 중요 변수들을 확인하는 작업이다. 잠재적으로 영향력 있는 변수들에는 승용차의 특성과 AVTS 포함 대중교통의 특성이 모두 함께 포함된다. 모델의 특징으로 첫째, AVTS를 묘사하는 변수들은 대부분의 응답자들에게 새로운 특성들이기 때문에, 그에 대한 선호 정도를 조사하기 위해서는 실험설계에 근거한 모델을 개발한다. 둘째, 두 교통수단 모두의 매우 상세한 내용을 포함할 수 있으나, 최소한의 변수 개수는 포함하면서도 그 영향 파악을 가장 간단하게 확인할 수 있는 모델을 지향하여, 변수들 간의 상호작용은 고려하지 않고, 오로지 변수들의 직접효과에만 집중한다.

이러한 필요에 의하여, 본 연구는 2수준의 Plackett-Burman(PB) 실험설계를 채택하였다. PB 실험설계는 특정 대안에 대한 선호에 영향을 미치는 중요한 주효과를 효율적으로 간파하는 데 유용한 조사 설계 방법이다(Box and Meyer, 1993; Tyssedal et al., 2006; Kuchekar and Pawar, 2014; Salihu et al., 2013). 이 실험설계는 독립변수 간 상호작용의 추정을 허용하지 않는데, 이는 일반적으로 주효과는 2수준 상호작용에서는 크게 교락하기 때문이다. 선호 평가 대안인 ‘카드’의 수효는 변수의 개수보다 한 개 더 많다. 각 카드는 PB 실험설계에 따라 변수 값을 지정한다. 전체 카드 중 일부를 임의로 선택하여 설문 응답자에게 제시한다. 응답자는 각 카드에 점수를 책정한다.

PB 설계의 이러한 특성은 본 연구의 분석 내용에 적합하다. 본 연구는 개별통행이 아닌, AVTS를 포함한 대중교통수단 연계 전체가 승용차에 대응하는 상황을 설정하고, 그러한 선호의 영향요인을 확인하고자 한다. PB 설계는 주효과를 2수준으로만 확인하기 때문에, 중요 변수와 그 영향의 방향만을 직관적으로 확인하는 데 용이하다.

Table 1은 12개 카드와 11개 변수의 변수 값을 지정한 예시이다. 본 연구의 분석에서, 변수들은 승용차와 AVTS 포함 대중교통의 특성을 묘사한다. 설계는 12개 카드-11개 변수, 20개 카드-19개 변수, 24개 카드-23개 변수, 28개 카드-27개 변수 등으로 구성할 수 있다. 응답자는 승용차와 AVTS 포함 대중교통 수단 중 더 선호하는 대안을 표시한다. 표에서 제시한 마지막 열은 선호 카드에서 응답자들이 승용차가 아닌 AVTS 포함 대중교통 수단을 선호한 비율, 즉 선호정도를 의미한다.

승용차와 AVTS 포함 대중교통수단 특성들의 특정값의 조합은 하나의 카드를 구성한다. 각 카드에서 응답자는 변수 값의 조합에 근거하여 승용차와 AVTS 포함 대중교통 수단 중 어떤 것을 더 선호하는지 표시하도록 요청받는다. 본 연구는 승용차가 아닌 AVTS 포함 대중교통 수단을 선호한 비율을 각 선택 카드에 대한 응답자들의 평가 결과로 간주한다. 일단 전체 자료에 대한 추정 결과를 나타내는 주 모델이 구성된 후에는, 자료는 개인특성과 현재 통행태에 따라 분할되어, 분할된 각각의 자료가 나타내는 통근자 교통수단 선호 모델이 각각 추정된다.

**Table 1.** A Plackett-Burman design matrix (a case of 12 cards for 11 variables)

Card ID	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Pref.
1	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	
2	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	
3	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	
4	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	
5	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	
6	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	
7	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	
8	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	
9	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	
10	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	
11	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

## 자율주행 대중교통 서비스와 자료

### 1. 경기도 판교 제로셔틀

경기도는 자율주행 대중교통 서비스(AVTS)를 설치 운영하는 프로젝트를 진행하고 있다. 대상지는 판교 제2테크노밸리이다. 서울 동남쪽 22km 지점에 위치한 판교 제2테크노밸리는 서울 도심으로부터 약 40분의 승용차 이동 거리에 있다. 그러나 오전첨두시간에는 이동시간이 약 80분으로 늘어난다. 대중교통을 이용한다면 1-2회의 환승을 포함하여 90분 이상의 통근시간이 소요된다. 이러한 통근시간은 서울 도심으로부터의 추정이지만, 실제 통근자의 거주지별로 매우 큰 차이가 있다. 또한, 대부분의 통근자는 통근교통 수단으로 승용차 또는 환승 포함 대중교통 수단을 이용한다. 대중교통 이용자들 중에서도 어떤 이는 지하철 판교역에서 마을버스를 타고 판교 제2테크노밸리로 들어가기도 하나, 어떤 이는 판교역 앞 마을버스를 거치지 않고 바로 판교 제2테크노밸리로 가기도 한다. 현재 판교에서 운영중인 AVTS는 안전성과 안락성에 관한 테스트 운행 중에 있으며, 가까운 미래에는 연결된 인프라의 적절성에 관한 테스트도 시행할 계획에 있다.

판교에서 설치 운영 중인 AVTS는 판교제로셔틀이라 명명되었다. 판교제로셔틀은 실제 운행에 들어간 우리나라 최초의 AVTS이다. 자율주행 내비게이션 수준은 레벨4를 의도하였다. 셔틀로 이용하는 미니버스에는 11개의 좌석이 있으며, 지하철 판교역과 판교 제2테크노밸리 사이의 2.5km를 시속 25km로 운행하도록 설계되었다. 또한, 프로젝트는 완전한 서비스 제공을 위한 높은 서비스 빈도를 시작하기 전에, 새 서비스에 대한 이용자의 잠재적인 수용 정도를 조사하고 있다.

### 2. Plackett-Burman 실험설계

#### 1) 선호 대안 정의

판교 제2테크노밸리로의 통근자는 현재 승용차 혹은 대중교통수단을 이용하고 있다. 본 연구가 제시하는 통근교통 수단의 대안은 두 가지인데, 하나는 승용차이고 다른 하나는 판교제로셔틀을 전제 통근 통행 여정의 일부로 포함하는 대안이다. 본 연구는 교통수단 선호조사에서 제시된 대안들에 대해 다음의 고려사항을 강조한다. 첫째, 조사는 (판교제로셔틀이 포함되지 않은) 기존의 대중교통 수단을 선호 대안에 포함시키지 않았다. 즉 본 연구에서 제시하는 통근여정 일부로서의 AVTS인 제로셔틀은 기존의 마을버스를 대체하는 것으로, 제로셔틀과 마을버스를 공존시키는 상황에서의 통근자 교통수단 선호에 대한 조사는 본 연구에서 고려하지 않는다. 이 둘은 정책적 선택의 문제로서 별도의 연구가 필요한 것으로 판단한다. 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호 요인을 분석하는 것이 본 연구의 주 초점이기는 하나, 기존의 이용 교통수단으로부터 새롭게 도입된 자율주행차량 서비스를 포함하는 대중교통

으로 이용 수단이 이동하는 것을 해석하는 것 역시 중요하다. 조사는 판교제로서틀 포함 대중교통에 대한 선호를 수단전이로 간주하며, 승용차에 대한 선호는 수단전이가 아닌 것으로 간주한다. 즉 기존의 대중교통 이용자가 새롭게 도입된 대중교통을 선택하는 것은 수단전이로 간주하나, 기존의 대중교통 이용자가 승용차를 선택하는 것은 수단전이로 간주하지 않는다. 기존의 승용차 혹은 기존의 대중교통 자체에 대해 어떠한 새로운 변화가 언급되지 않은 상태에서, 기존의 승용차 이용자가 기존의 대중교통으로 혹은 기존의 대중교통 이용자가 기존의 승용차로 선택을 바꿀 이유는 없다. 새롭게 도입된 대중교통을 이용할 수 없거나 이용하고 싶지 않은 조사 응답자 모두는 승용차를 선택한다. 요약하면, 본 연구는 판교제로서틀을 포함한 대중교통 수단을 선호하는 모든 경우를 수단전이로 간주하며, 다른 어떤 선호의 경우도 수단전이로 간주하지 않는다.

둘째로, 판교제로서틀 포함 대중교통 수단은 하나의 교통수단만으로 구성된 선호 대안이 아니다. 상호 연계된 대중교통 수단들의 집합이며, 일련의 대중교통 통행과 하나의 판교제로서틀 통행을 묶은 것이다. 즉 여기서의 대중교통 수단 이용은 집에서 직장까지 연결되는 통근의 전체 여정을 의미한다. 단일 교통수단인 승용차와 달리, 판교제로서틀 포함 대중교통 수단의 이용은 환승을 포함하는 여러 개의 통행의 시퀀스 실행을 의미하는 것이다. 일련의 대중교통 이용에 판교제로서틀을 끼워 넣은 것은, 통근자가 판교제로서틀만을 이용하는 것을 분석함이 아니라 하나의 세트로서의 교통수단을 이용하는 것을 분석하기 위함이다.

## 2) 선호 대안 특성

승용차 수단의 대표적인 특성은 집에서 판교 제2테크노밸리까지의 주행비용, 통행시간, 주차비용 등이다. 승용차 이용의 기타 특성인 프라이버시, 안전, 접근성, 다목적통행 등은 본 연구의 분석에 포함하지 않았다. 본 연구의 목적은 승용차 선택이 아닌 판교제로서틀을 포함한 새로운 대중교통 수단선택을 분석하는 것이기 때문에 승용차 관련 상세 변수 목록은 적용하지 않았다. 새로운 대중교통 수단은 집에서 지하철 판교역까지의 일련의 전통적인 대중교통 수단들의 특성들과 판교역에서 판교 제2테크노밸리 사이를 운행하는 판교제로서틀의 특성을 모두 열거하고 있다. 전통적인 대중교통 수단의 특성으로는 대중교통 요금, 대중교통 통행시간, 환승 빈도 등을 포함한다. 판교제로서틀의 특성으로는 판교제로서틀의 요금, 서비스 빈도, 통행시간, 정류장 수, 테크노밸리 안에서의 순환정차 서비스 제공 여부 등을 포함한다. 특히 본 연구에서는 이용자가 느끼는 기존 대중교통과의 차별성으로서 AVTS는 기존 대중교통 연계 이동 중 AVTS 부분에 해당하는 마을버스의 요금과의 차이, 기존 대중교통과는 달리 전체 통근여정 중 하나로서 제시되는 연계수단으로서의 특성, 기존 대중교통의 마을버스에 비해 더 잦은 서비스빈도, 기존 대중교통의 마을버스에 비해 더 적은 중간 정류장 수, 기존 대중교통 연계에는 없는 목적지에서의 순환서비스가 가능해질 수 있다는 전제를 포함한 것을 주목한다.

## 3) 영향 요인 리스트

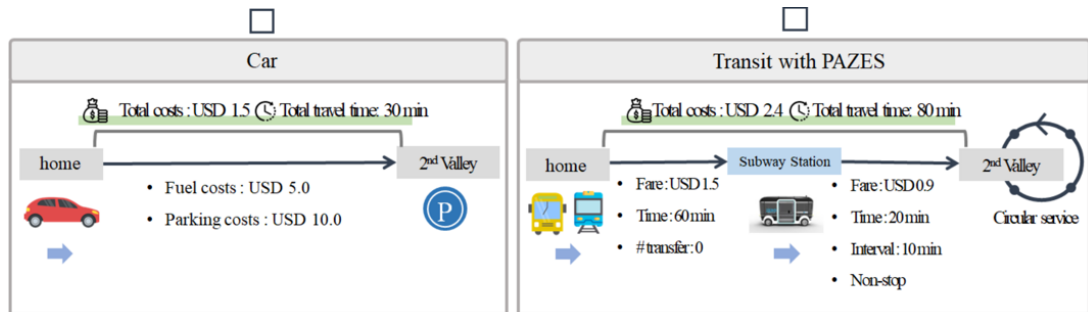
선택 대안 특성 변수들은 위에서 설명한 PB 실험설계에 따라 2수준으로 구성하였다. 승용차 이용과 대중교통 수단 이용의 모든 변수의 값들은 서울 도심에서 출발하는 것을 가정하여 제시되었다. 이는 응답자가 선호 조사에서 승용차와 판교제로서틀 포함 대중교통 수단의 편익을 평가하기 위한 실험 환경을 제공한다. 11개 변수의 2수준 값들은 12개 선호 카드의 각각에 지정되는데, Table 2는 선호 카드를 구성한 결과이다.

Figure 2는 본 연구의 PB 실험설계 조사에서 쓰인 선호 카드의 한 예이다. 집에서 판교 제2테크노밸리로 매일 출근하는 응답자는 각 교통수단의 특성을 고려한 후, 두 대안 중 통근 교통수단으로 선호되는 것이 무엇인지 표시해야 한다. 각 응답자는 12개 중 3개의 카드를 제시 받고, 각 카드마다 둘 중 더 선호되는 교통수단을 표시한다. PB 실험설계 매트릭스는 판교제로서틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호의 비율을 해당 실험설계 카드에 대한 응답자들의 평가 수준 혹은 평가 결과로 간주한다. 해당 카드의 평가 결과인 선호 비율은 해당 카드를 제시 받은 모든 응답자들 중 판교제로서틀 포함 대중교통 수단을 승용차에 비해 더 선호해서 응답한 비율로 계산된다.

**Table 2.** SP choice cards following the Plackett-Burman design

Card ID	Car			Transit with Pangyo Zero Shuttle (PAZES)							
	Fuel cost in USD	Driving time in min	Parking cost in USD	Transit before PAZES			PAZES				
				Fare in USD	Travel time in min	# transfers	Fare in USD	Interval (every min)	Travel time in min	# stops	Circular service*
1	5	30	10	1.5	≤60	0	0.9	10min	20	0	Yes
2	5	60	0	3	≤60	0	0.45	10min	20	5	No
3	3	60	10	1.5	≥90	0	0.45	3min	20	5	Yes
4	5	30	10	3	≤60	≥1	0.45	3min	10	5	Yes
5	5	60	0	3	≥90	0	0.9	3min	10	0	Yes
6	5	60	10	1.5	≥90	≥1	0.45	10min	10	0	No
7	3	60	10	3	≤60	≥1	0.9	3min	20	0	No
8	3	30	10	3	≥90	0	0.9	10min	10	5	No
9	3	30	0	3	≥90	≥1	0.45	10min	20	0	Yes
10	5	30	0	1.5	≥90	≥1	0.9	3min	20	5	No
11	3	60	0	1.5	≤60	≥1	0.9	10min	10	5	Yes
12	3	30	0	1.5	≤60	0	0.45	3min	10	0	No

\*circular service denotes that Pangyo Zero Shuttle (PAZES) installs additional stops in the area of the final destination, which are arranged in circle around the work places within the 2nd valley, and provides the commuters with the final door-step service.



**Figure 2.** An example of a preference card

#### 4) 영향 요인 분석 모델

본 연구의 판교제로셔틀을 포함 대중교통 수단에 대한 선호 모델은 Equation 1과 같이 표현할 수 있다.

$$y = \alpha + \beta x \tag{1}$$

여기서, y는 응답자가 판교제로셔틀을 포함한 대중교통 수단을 선호할 비율을 의미하며 x는 영향 변수들의 벡터이다. 파라미터  $\alpha$ 는 판교제로셔틀을 포함한 대중교통 수단의 평균 선호비율이며 파라미터  $\beta$ 는 선호 비율에 대한 변수의 영향 혹은 한계효과를 나타낸다. 한 변수가 낮은 값에서 높은 값으로 혹은 ‘아니오’에서 ‘예’로 변경되면 선호 비율은  $\beta$ 만큼 변한다. 분석은 2수준 변수들의 주 효과만을 고려한다.

본 연구는 모델 추정을 위해 미니탭19®를 사용하였다. 추정은 PB 요인설계의 전반적인 평가에 대한 각 변수의 영향의 크기와 방향을 보여준다. 분석 결과는 파라미터 값과 그 통계적 유의성, 그리고 모델의 설명력에 대한 설명을 제공한다. 통근자 집단 각각에서 이루어진 추정의 결과는, 개인 특성과 현재 통행행태 변수들 중 어떤 것들이 판교제로셔틀을 포함한 대중교통 수단에 대한 선호 비율에 유의한 영향을 미쳤는가를 보여줄 것이다.



### 3. 자료

자료는 2019년 11월 4일 월요일에서 6일 수요일까지 평일 3일 동안 수집되었다. 조사 설문은 판교 제2테크노밸리 내에서 근무하는 통근자를 대상으로 이루어졌다. 설문은 (1) 통근자의 현재 통행행태, (2) PB 설계에 따라 제시된 승용차와 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단의 특성들에 근거하여 통근자가 두 수단 중 통근교통수단으로서 어떤 것을 더 선호하는지에 대한 실험설계 조사, (3) 통근자의 개인 특성 등 크게 세 부분으로 구성되었다. 모두 합해 600명의 응답자에게 조사가 진행되었는데, 이 중 501명이 위 (2)에 대한 응답을 제시한 유효 설문 결과를 제공하였다. 600명의 응답자는 벨리 내에 위치한 회사들의 인사 담당 부서에 사전 협조를 얻어 접촉하였고 판교제로셔틀을 이용했거나 가까이서 접하고 있기 때문에 자율주행셔틀 이용에 대한 사회적 수용성이 높다고 할 수 있다. Table 3에서 각 변수에서 수준의 빈도 합이 501인데 합이 안되는 것은 해당 변수에 대한 미응답에 해당한다.

**Table 3. Statistics of the respondent characteristics**

Discrete characteristics		Freq.	%			
Gender	Female	176	35.1			
	Male	325	64.9			
Work type	Indoor	362	72.7			
	Outdoor	136	27.3			
Current mode	Transit	266	57.2			
	Car	199	42.8			
Interval characteristics		N	Min	Max	Average	Std.
All users	Age (years old)	500	19	66	39.6	11.50
	Monthly income (USD)	435	1,000	80,000	4,068.3	7,344.65
Transit users	Fare (USD)	244	1	200	3.7	12.80
	Travel time (min)	249	15	170	71.4	27.82
	# transfers	228	0	8	1.7	1.18
	Waiting time (min)	154	3	70	18.4	9.92
	Village bus travel time (min)	140	8	55	18.5	8.55
	Village bus stop to work (min)	141	1	60	10.5	11.56
	Driving cost when using a car (USD)	205	0	250	8.4	19.82
	Driving time when using a car (min)	235	0	150	44.4	25.68
Car users	Ordinary travel time (min)	199	5	90	29.9	15.43
	Congested travel time (min)	197	10	150	53.8	25.80
	Today's travel time (min)	189	7	130	39.3	21.67
	Travel distance (km)	163	1	75	20.1	13.26
	Parking costs (USD)	171	0	20	2.4	4.6
	Fuel costs when using a transit (USD)	178	1	15	3.3	1.87
	Travel time when using a transit (min)	186	7	180	75.2	34.24
	# transfers when using a transit	165	0	4	1.6	0.96

특히 조사의 두 번째 부분에서, 각 카드는 승용차 이용 특성(주행비용, 주행시간, 주차비용), 대중교통 이용 특성(요금, 통행시간, 환승 횟수), 판교제로셔틀 이용 특성(요금, 통행시간, 서비스 빈도, 정류장 수, 순환정차 서비스) 등을 묘사한다. 응답자 한 명은 PB 실험설계에 따라 만들어진 12개 카드 중 임의의 3개의 카드를 받는다. 501명의 유효응답 수 중, 57.9%의 응답자들이 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단을 통근교통수단으로 선호하였다. 판교제로셔틀이 잠정적으로 매우 높은 선호를 얻고 있음을 의미한다. Table 4에 따르면, 응답자 특성별 판교제로셔틀 포함 대중교통으로의 수단전이 확률 역시, 대부분 55-60% 사이로 유사했다. 다만, 현재 이용 교통수단에 따른 수단전이 확률은 매우 달랐는데, 승용차 이용자의 수단전이 확률은 71.3%로 매우 높지만, 대중교통 이용자는 40.0%로 상대적으로 낮았다. 현재 승용차 이용자는 자율주행 셔틀 서비스 포함 새로운 대중교통수단을 기존의 대중교통수단과는 매우 다른, 더 나은 수단으로 인식하는 반면, 현재 대중교통 이용자는 그 차이점을 그다지 크게 인식하지 않는 것으로 해석된다. 그 근거는 서론에서 이미 언급한 바와 같다.

**Table 4. Model shift rate by travel behavior/personal characteristics**

	Characteristics	Shift to a transit with Pangyo Zero Shuttle
Current mode	Car	71.3
	Transit	40.0
Gender	Female	57.4
	Male	58.2
Age (yr)	<40	57.1
	>=40	58.8
Work type	Work indoor	60.1
	Work outdoor	52.0
Monthly income (USD)	<3,000	60.0
	>=3,000	55.9

## 영향요인 분석

모델 추정은 우선적으로는 앞서 언급된 11개 변수를 포함한다. 어떤 변수는 미니탭19®의 추정 과정에서 제거되는데, 유의수준  $\alpha=0.1$ 이 충족되지 않아서이다. 제거된 변수들은 에러항으로 묶이며, 분석은 제거 과정에서 살아남은 변수들로만 모델을 다시 구성하여 재추정한다. 추정은 우선 501명의 응답자 전원의 응답에 대해 수행하며, 그 다음에는 현재 이용 교통수단, 연령별, 성별, 근무형태별, 소득수준별 등으로 응답자 집단을 구분하여 각각에 대해 추정한다.

### 1. 전체 영향요인 분석

전체 응답자의 제로셔틀 포함 대중교통수단에 대한 선호 비율의 추정 모델은 Table 5와 같이  $y = 57.883 + 1.353x_1 - 2.086x_2 + 2.148x_5 + 1.222x_6 - 2.135x_7$ 이며, 수정  $R^2$  값은 79.52%이다. 여기서  $y$ 는 판교제로셔틀 포함 대중교통수단 선호 비율(%)이며, 상수(constant)는 전체 자료에서 해당 수단의 평균 선호 비율을 나타낸다. 이하에서 포함된 독립변수들은 PB 실험설계에 따라 모두 2항 변수이며, 각주에 표기된 변수들의 상세사항은 Table 3의 변수별 기술통계와 관련하여, Table 2의 방식으로 제시되었다. 단 연령과 소득수준 변수의 2수준 구분은 Table 3의 평균치가 아닌 2분위 점을 따랐다. 즉 연령은 40세 미만과 이상, 월소득은 300만원 미만과 이상으로 구분하였다.

**Table 5. Estimated model of the choice of a transit with Pangyo Zero Shuttle (PAZES) (entire sample)**

	Effect	Coefficient	T-value	P-value	$R^2$ (%)
Constant		57.883	97.40	0.000	
x1	2.705	1.353	2.28	0.063	79.52
x2	-4.172	-2.086	-3.51	0.013	
x5	4.296	2.148	3.61	0.011	
x6	2.445	1.222	2.06	0.085	
x7	-4.270	-2.135	-3.59	0.011	

Note: x1=car fuel cost, x2=car travel time, x3=car parking cost, x4=transit fare before PAZES, x5=transit travel time before PAZES, x6=# transit transfers before PAZES, x7=PAZES fare, x8=PAZES freq., x9=PAZES travel time, x10=# PAZES stop, x11=PAZES circular service.

추정 결과로부터 확인된 중요 변수들은 승용차 통행시간, 판교제로셔틀 전까지의 대중교통 통행시간, 판교제로셔틀 요금이다. AVTS 포함 대중교통 이용 선호 비율에 영향을 미치는 변수들에 대한 추정 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 먼저, 승용차 이용이 아닌, AVTS 포함 대중교통 이용을 선호함에 있어, 승용차 통행시간(x2)은 30분과 60분 중 짧은 30분이 관련 있고, 대중교통 통행시간(x5)은 60분 이하와 90분 이상 중 긴 90분 이상이 관련 있음을 볼 수 있다. 이는 반대로 30분과 90분 사이의 통행시간으로 공통 제시된 약 60분의 통행시간이라면 승용차 이용을

선호함을 나타낸다. 이 결과는, AVTS 포함 대중교통 이용과 승용차 이용 간 선호 비교라는 특별한 경우에 있어서, 대중교통 이용과 승용차 이용에 선호되는 통행시간 범위가 각각 존재함을 제안하고 있다. 더 상세하게는, 통행시간이 승용차로 30분 미만 거리에 있거나 대중교통으로 90분 이상 거리에 있는 위치에서의 통근통행은 AVTS 포함 대중교통수단 이용이 적절하고, 승용차든 대중교통이든 60분 내외로 걸리면 승용차 이용이 적절하다고 인식한다는 것이다.

둘째로, 통근자는 자율주행 대중교통 서비스를 선택할 때는 이용 요금(x7)만을 고려하는 것으로 나타났다. 현재의 마을버스 요금인 900원을 기준으로, 선호의 실험설계는 900원과 450원 중 어느 것이 더 좋은가를 조사하였다. 답은 450원이었다. 그러나 이것은 450원이라는 가격의 정확한 수치를 의미하기 보다는 통근자가 현재의 마을버스 요금보다 더 많은 요금을 지불하기를 원하지 않는다는 것을 의미하는 것이라고 해석된다. 비록 다른 많은 판교제로 셔틀 변수들이 검증되었으나, 잠재적 이용자들은 비용 변수만을 중요한 것으로 생각하는 것으로 나타났다. 아마도 통근자는 AVTS가 매일의 통근에 대해 무엇을 의미하는지 중에서, 평가에 가장 용이한 이용 요금에만 집중한 것으로 보인다.

셋째로, 비록 선호구조는 다소 간소하여 소수의 유의한 변수들만이 포함되지만, 추정된 모델은 모든 대안들의 특성들과 통근 목적지까지의 모든 통행들을 고려한다. 모델 구조는 승용차 이용 특성, 전통적인 대중교통 이용 특성, 판교제로셔틀 이용 특성을 모두 함께 포함한다. 이는 중요 변수들의 긍정적 영향과 부정적 영향 모두가 고려되며, 계획 중의 대중교통 서비스의 변수들은 전체 대중교통 변수들의 일부인 것으로 간주됨을 의미한다.

## 2. 변수별 영향요인 분석

### 1) 현재 이용 교통수단별 영향요인 분석

Table 6의 추정 모델 6-1(승용차이용자)에서, 예상과 달리, 승용차 이용자로부터의 모델 추정 결과는 판교제로 셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호 비율에 유의한 영향을 미치는 변수가 없다. 11개 변수의 모델이 제거를 통한 추정 과정을 우선 거친 후, 판교제로셔틀 요금, 통행시간, 순환정차 서비스 등이 단순화된 모델에서 다시 한 번 검증된다. 이들 세 변수들은 유의수준  $\alpha=0.05$  에서 모두 유의하지 않았다. 추정 모델의 설명력인  $R^2$  값은 전체 모델 추정 결과에 비해 매우 낮다. 이러한 추정 결과는 모델의 변수 구성이 특정 교통수단에 대한 선호를 종합적으로 설명하는데 충분치 않음을 뜻한다.

**Table 6.** Estimated model of the choice of a transit with PAZES by respondent group

Respondent group			Estimated model of the choice of a transit with PAZES	$R^2$ (%)	Model ID
Travel behavior	Current transport mode	Car	$y = 40.18 - 3.03 x7 + 2.89 x9 - 3.40 x11$	40.10	6-1
		Transit	$y = 71.128 - 2.515 x2 - 2.103 x4$	52.55	6-2
Personal characteristics	Age	<40	$y = 56.80 - 2.52 x2 + 2.32 x3 + 2.39 x5 - 2.07 x7$	58.63	6-3
		≥40	$y = 59.16 + 3.27 x9$	28.60	6-4
	Gender	Female	$y = 58.01 - 3.36 x2 + 2.76 x3 + 3.15 x8$	56.47	6-5
		Male	$y = 57.92 - 3.12 x7$	28.59	6-6
	Work type	Indoor	$y = 59.911 + 1.574 x1 - 2.618 x2 - 2.032 x4 + 2.068 x5 + 1.915 x6 - 1.525 x7 + 1.312 x9$	95.54	6-7
		Outdoor	$y = 53.331 + 3.429 x4 + 2.708 x5 - 2.937 x7 - 1.650 x11$	79.15	6-8
	Monthly income (USD)	<3,000	$y = 60.292 + 2.224 x1 - 3.567 x2 + 2.642 x3 + 3.735 x5 + 1.713 x9 + 3.208 x10 - 2.297 x11$	93.33	6-9
		≥3,000	$y = 55.234 + 1.913 x1 - 1.937 x2 - 0.610 x3 + 1.862 x4 - 2.403 x7 - 1.049 x8 - 3.887 x10 + 1.663 x11$	99.54	6-10

Note: x1=car fuel cost, x2=car travel time, x3=car parking cost, x4=transit fare before PAZES, x5=transit travel time before PAZES, x6=# transit transfers before PAZES, x7=PAZES fare, x8=PAZES freq., x9=PAZES travel time, x10=# PAZES stop, x11=PAZES circular service. The variables in bold denote those significant at  $\alpha=0.05$ .

Table 6의 추정 모델 6-2(대중교통 이용자)에서, 대중교통 이용자의 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호 구조는 단순하고 분명하다. 선호에 중요한 요인들은 짧은 통행시간과 낮은 대중교통 요금이다. 이들은 전체 통행 시간이 30분 이내로 짧고 판교제로셔틀 탑승 이전까지의 대중교통 요금이 낮다면 판교제로셔틀 포함 새 대중교통 수단을 선호하는 경향이 높음을 나타내었다. 판교제로셔틀 특성을 나타내는 그 밖의 변수들은 중요한 것으로 인식되지 않았다. 이상에서 승용차 이용자는 제로셔틀이 제공하는 특성들에 대해 유의미한 차별적 선호를 나타내지 않은 데 반해 대중교통 이용자는 저렴한 제로셔틀 요금을 특별히 선호함을 확인할 수 있었다.

## 2) 개인특성별 영향요인 분석

### (1) 연령

추정 모델 6-3(40세 미만)에서는 40세 미만 통근자는 짧은 승용차 통행시간만이 유의한 것으로 나타났다. 유의 수준에 가까운 다른 변수들로는 높은 주차비용, 긴 대중교통 통행시간, 저렴한 판교제로셔틀 요금 등이다. 이 결과는 전체 자료로부터의 추정 결과와 유사하다. 즉 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단 선택에 선호되는 변수는 단순한 통행과 저렴한 판교제로셔틀 요금이다. 추정 모델 6-4(40세 이상)에서는 40세 이상 통근자의 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호에 유의한 변수는 더 오래걸리는 판교제로셔틀 통행시간으로서, 이 통근자 집단은 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 일관된 선호구조가 없는 것으로 보이며, 수정된  $R^2$  값 역시 모든 응답자 집단 중 가장 낮다. 이 연령 집단의 평균적인 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단 선택은 59.16%로서, 40세 미만의 통근자들에 비해 더 높다.

### (2) 성별

추정 모델 6-5(여성)에서, 여성 통근자들은 짧은 승용차 주행 시간, 낮은 판교제로셔틀 서비스 빈도가 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호 경향이 있다. 짧은 자동차 주행 시간은 전체 조사 자료 추정치와 같은 맥락이며, 예상과 다르지 않다. 그러나 셔틀의 서비스 빈도가 낮은 것을 선호하여, 기존의 마을버스 대비 자율주행버스의 서비스 빈도를 크게 늘리는 것이 이 통근자집단에게는 그다지 매력적인 요인이 아닐 것임을 알 수 있다. 추정 모델 6-6(남성)에서, 남성 통근자들은 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단 이용에서 저렴한 판교제로셔틀 요금만을 중요 요인으로 포함하는 매우 단순한 선호 구조를 보인다. 대중교통 수단이나 승용차 관련 변수들 어느 것도 중요 요인으로 확인되지 않았다. 남성 통근자의 모델의 설명력은 통근자 집단 중에 가장 낮다. 이는 선호 비율의 변인을 더 잘 설명할 수 있는 다른 의미 있는 변수들이 모델에 포함되어야 함을 뜻할 수 있다. 어떤 경우라도, 남성 통근자가 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단 선호 시 저렴한 셔틀 이용 비용이 중요한 변수임은 분명하다.

### (3) 근무유형

판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호 추정 모델 6-7(사무실 근로자)로부터 알 수 있는 것은, 매우 많은 변수들이 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 평가에 중요 요인으로서 기여하고 있으며, 선호 비율의 변량을 거의 온전히, 쉽게 설명하고 있다. 승용차 대안이 주행비용이 높고, 통행 시간이 짧으며, 판교제로셔틀 승차 이전의 대중교통 수단의 요금이 저렴하고, 통행 시간이 더 길고, 판교제로셔틀 요금은 저렴할 때 높은 선호를 보인다. 환승 빈도가 높을수록 대중교통 통행 시간이 더 길고, 판교제로셔틀 통행시간이 길수록 마을버스에 의한 현재 실제 통행 시간이 긴 것을 반영할 것이다. 추정 모델 6-8(외근 근로자)의 설명력은 앞서의 사무실 근로자 모델보다는 낮으나 전체 자료나 다른 모델들에 비해서는 아직도 월등히 높은 설명력 수준을 나타낸다. 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단 이용을 선호하는 외근 근로자는 긴 대중교통 통행 시간, 저렴한 판교제로셔틀 요금을 선호한다. 즉 이들은 90분 이상의 통행시간, 현재의 마을버스 요금보다 저렴한 판교제로셔틀 요금의 경우 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단을 선택하는 경향을 보인다. 대중교통 요금이 높은 것은 선호를 나타내기 보다는 더 긴 대중교통 통행 시간이 선호되는 것과 관련이 있다.

#### (4) 월 소득수준

추정 모델 6-9(월 소득 300만원 미만)의 설명력은 매우 높다. 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 선호 비율은 승용차 주행비용과 주차비용이 높고, 승용차 주행시간이 짧으며, 대중교통 통행시간이 길 때 상승한다. 이 소득수준의 통근자는 판교역과 회사 사이에 판교제로셔틀 정류장이 없는 것보다는 있는 것을 더 선호하는데, 판교역과 회사 사이의 정류장을 이용할 수도 있어 보인다. 더 긴 판교제로셔틀 통행시간 선호 역시 이것과 관련이 있다. 판교 제2테크노밸리 안에서의 순환정차 서비스는 선호하지 않는데, 이는 제로셔틀 하차 이후 사무실까지 도보이동에 비해 순환정차 서비스의 추가 효용을 별로 인식하지 못함을 의미한다. 추정 모델 6-10(월 소득 300만원 이상)은 전체 조사 자료를 포함하여 모든 세부 모델들 전체를 통틀어 가장 설명력이 높다. 거의 모든 선호 비율의 변량을 설명하고 있다. 특히 이 소득수준의 통근자들은 예상과 일치하는 방향으로 판교제로셔틀 변수들에 대한 선호를 나타낸다. 저렴한 판교제로셔틀 요금, 잦은 서비스 빈도, 판교역-회사의 판교제로셔틀의 무정차 운행, 그리고 판교 제2테크노밸리 안에서의 순환정차 서비스 등을 포함한다.

## 결론

본 연구는 추진 중인 자율주행 대중교통 서비스(AVTS)인 판교제로셔틀을 포함하는 대중교통수단에 대한 선호 요인을 확인하는 것에 목적이 있다. 일반적으로, 서비스 제공자는 새로운 서비스 상품에 대한 예상 수요와 그 이유를 추정하는 데 매우 큰 관심을 가진다. 그러나 자율주행 교통서비스에 관한 기존의 연구들은 기술적 측면과 안전 이슈에 치중하고 있다. 더욱이 자율주행 차량의 이용자 선호를 다루는 몇몇 연구들조차도 새로운 기술의 긍정적인 측면에 분석의 초점을 두고 있다. 또한 현행 대중교통 서비스에 기여하는 자율주행 차량의 대부분이 전체 통근 여정의 일부만을 담당하고 있는 것이 현실이나, 기존의 AVTS 연구는 통근을 위한 전체 대중교통 수단 이용 여정 중에 있는 여러 통행들 간의 상호 관련성에 대해 관심이 적은 것으로 보인다.

본 연구의 모델은 판교 제2테크노밸리에서 새롭게 제공되는 판교제로셔틀 포함 대중교통수단에 대한 선호에 영향을 미칠 것으로 보이는 11개 변수들에 대한 영향요인을 추정하였다. 이 모델의 추정을 위한 자료 구성은 Plackett-Burman(PB) 실험설계에 따라 이루어졌으며, 2019년 11월의 평일 3일 동안 수집된 선호 실험설계 자료에 의해 추정이 이루어졌다. 설문은 판교 제2테크노밸리의 통근자 600명에 대해 시행되었다. 유효한 설문 응답을 제공한 501명 각각은 2수준의 PB 설계로 만들어진 12개의 선택카드 중 3개를 임의로 부여 받아, 각 카드에서 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단 이용과 승용차 이용 중 어느 것을 더 선호하는지를 표시하였다.

모델 추정의 결과를 종합하면 다음과 같다. 첫째로, 통근자의 교통수단 선호 구조는 단순하다. 통근자는 대부분의 응답자 집단별 모델 추정 결과에서, 비교적 적은수를 중요 요인으로 고려하는 것으로 나타났다. 11개 변수 전체는 승용차 이용, 판교제로셔틀 탑승 전까지의 대중교통 수단 이용, 판교제로셔틀 이용 각각과 관련된 다양한 특성들을 묘사하고 있으나, 일부의 변수들만이 유의한 것으로 나타났다.

둘째로, 통근자들은 승용차 이용과 대중교통 이용 각각에 대하여 특정한 범위의 시간에 대한 선호를 갖고 있음을 나타내고 있다. 승용차 이용 통근시간은 대략 60분 내외임에 반해, 대중교통 이용 통근시간은 30분 미만이나 90분 이상이 선호되는 것으로 나타났다. AVTS 포함 대중교통수단 이용과 승용차 이용 간의 통근수단 선호를 확인하는 이 특별한 조사의 경우에 있어, 아마도 승용차 주행이 30분 미만의 짧은 거리라면 주차까지 고려할 때 굳이 승용차 이용의 필요성을 덜 느낄 수 있으며, 반대로 1시간 30분 이상의 장거리 주행이라면 오히려 운전의 피로도를 걱정할 수 있을 것으로 해석된다. 셋째로, 대부분의 통근자 집단은 AVTS의 특성 중 선호하는 특성을 구체적으로 드러내지 않았으며, 판교제로셔틀 포함 대중교통 수단에 대한 가장 중요한 선호 요인은 현재의 마을버스 요금보다 저렴한 판교제로셔틀 요금이었다. 소득이 높은 통근자 집단만이 판교제로셔틀의 기타 여러 가지 구체적인 특성들을 중요 요인으로 구분하고 있다.

넷째로, 판교제로셔틀에 대한 선호는 판교제로셔틀만이 아니라 전체 통근통행 여정의 일부로서 형성되었다. 이는

판교제로셔틀이 대중교통 서비스의 퍼스트마일/라스트마일 기능으로서 제공되어야 함을 뜻한다.

다섯째로, 현재 이용 교통수단과 개인 특성 중 소득수준 집단에 대해 추정된 모델이 선호 비율의 변량을 가장 잘 설명하고 있으며, 그 다음으로는 근무유형 집단에 대한 추정 모델이 있다. 수정  $R^2$  값은 현재 이용 교통수단, 연령, 성별 등의 응답자 집단 추정 모델에서 그다지 높지가 않다. 이러한 결과는 아마도 사회경제적 변수들 중 경제적 변수가 사회적 변수에 비해 선호 구조를 더 잘 설명한다는 것으로 볼 수 있다. 다른 말로, 특정 교통수단에 대한 선호 구조를 설명함에 있어 경제적 지위가 사회적 지위보다 더 민감하다고 할 수 있다.

마지막으로, 판교제로셔틀 포함 대중교통수단에 대한 중요 선호 요인은 응답자 집단 간에 상이하다. 판교 제2테크노밸리 내에서 판교제로셔틀의 순환정차 서비스는 소득이 높은 통근자들에 의해 선호되었는데, 소득이 낮은 통근자들은 순환정차 서비스를 원하지 않았다. 이는 판교제로셔틀의 다양한 측면들은 통근자 집단들 간에 서로 다른 방식으로 서비스되어야 함을 의미하는 결과로 해석된다.

이상의 분석 결과는 기존 교통 시스템에 도입되는 AVTS에 대해 다음과 같은 시사점을 제공한다. 첫째, AVTS를 포함한 새로운 대중교통 수단으로의 수단전이 비율이 매우 높을 것으로 예상되며, 판교제로셔틀에 대한 예상 수요 역시 매우 높았다. 수단전이 비율은 현재 수단으로부터 약 55%나 된다. 이 비율은 연령별, 성별, 근무유형별, 소득수준별 응답자 집단 전반에서 대략적으로 유사하였다. 하나의 예외로, 현재 이용 교통수단 중 승용차 이용자는 71%로 매우 높으나, 대중교통 이용자는 40%로 전체에 비해 매우 낮다. 대중교통 이용자는 자율주행의 새로운 대중교통수단으로 옮기는 것보다 현재의 전통적인 교통수단에 대해 차이점을 덜 느끼는 것으로 보인다. 둘째로, 모든 응답자들에게 공통적으로 영향요인이 된 변수는 저렴한 판교제로셔틀 이용요금이다. 예상 요금은 450원으로, 현재의 마을버스 이용 요금인 900원의 절반이다. 이는 응답자가 정확히 이 금액을 내기를 원한다기보다, 통근자는 현행 마을버스 요금과 같거나 높다 하면 판교제로셔틀을 포함한 새로운 대중교통수단에 유인되지 않을 것으로 해석된다.

판교제로셔틀 포함 대중교통수단에 대한 선호 영향 요인으로서 샘플 전체 및 대부분의 부분샘플에서 공통으로 나타나는 것이 저렴한 셔틀 비용이며, 그 외에는 세부 모델별로 상이한 구성을 나타낸다. 이상의 분석 결과는 따라서, (1) 우선 셔틀 요금을 현행의 마을버스 요금보다 높여 받는 것을 지양하고(서론에서 논의한 대로, 이용자 입장에서 자율주행 승용차와는 달리 자율주행 버스가 기존 버스로부터 차별적으로 나타낼 수 있는 특성은 미미할 수밖에 없으므로), 그것에 더해, (2) 자율주행 셔틀 자체만을 보지 말고 연계 수단의 하나이며 라스트마일로 활용하는 것이 바람직한 자율주행셔틀을 포함한 전체 대중교통 연계체계의 긍정적인 요인들을 동시에 함께 고려해야 하는 것으로 해석할 수 있다.


본 연구의 한계와 향후 과제를 다음과 같이 정리한다. 첫째, 본 연구는 판교제로셔틀을 포함한 대중교통 통근수단 연계와 관련된 다양한 특성들 중 주효과만을 검토하였다. 승용차의 대안으로서 대중교통 연계수단의 다양한 상호작용 조합이 어떠한 특성을 나타낼 수 있는가를 명확히 하는 것이 중요하다는 점에서 이러한 부분을 다루었다. 둘째, 본 연구는 자율주행 차량 운행 자체의 특성에 대한 검토는 다루지 않았다. 자율주행 차량의 선호 요소를 기존에 측정된 안전성, 편리성 관련 연구 결과와 결합하여 자율주행셔틀이 일반교통수단과 같이 상용화된 관점에서 다루어질 필요가 있다. 셋째, 본 연구는 시간, 요금, 소득이 높은 통근자 집단 등 경제적 특성과 통행행태 특성을 그 분석 결과로서 강조하였는데, 서비스 공급자 측면의 변수가 고려될 필요가 있다. 넷째, 위 셋째의 한계와 추가 연구 사항과 관련하여, 현재로서는 이용자 입장에서 자율주행 셔틀차량이 서비스 측면에서 특별한 잇점이 결과에서 제시되지 않았으나, 향후에는 다양한 서비스 특성의 개발(즉, 기존 마을버스에 비해 더 적은 중간 정류장 수, 기존 대중교통 연계에는 없는 목적지에서의 순환서비스 등등)을 강화할 경우 이용자들이 크게 인식할 수 있는 서비스 측면의 상대적 잇점을 현실화할 수 있으며, 분석 모델은 이와 관련된 변수 개발로부터 큰 발전을 얻을 수 있을 것이다. 다섯째, 이상의 추가 연구 결과가 축적되면 그에 근거한 보다 정교한 의사결정 모델을 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 자율주행 포함 대중교통 대안 선호와 관련하여 어떠한 변수를 고려할 수 있는가에 대한 개괄적인 제시만 하였다. 마지막으로, 본 연구는 기존 대중교통 연계수단에 대한 선호 유지를 명시적으로 반영하지 않았다. 물론 정책 결정의 한 가능성으


로 기존 마을버스 대체 자율주행 서비스를 검토하였으나, 후속 연구에서는 보다 완전한 대안 선호와 선택의 분석을 위해 선택대안의 확대를 포함하는 것 역시 고려할 것이다.

## Funding

The data of this work was collected through the “Study on the Operation of the Pangyo Zero Shuttle (Ⅱ)” of Gyeonggi-Province. And the article is an elaboration of a part of the Research Report of GRI, “A Study of Inferring Factors of the Commuter’s Mode Choice considering the Introduction of the Autonomous Driving Shuttle Services”.

## ORCID

BHIN, Miyoung  <http://orcid.org/0000-0003-2412-6321>

JOH, Chang-Hyeon  <http://orcid.org/0000-0001-5426-7905>

SON, Seulki  <http://orcid.org/0000-0002-4183-2079>

## References

- Ben-Akiva M., Lerman S. R. (1985), *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press.
- Boesch P. M., Ciari F. (2015), Agent-based Simulation of Autonomous Cars, American Control Conference (ACC), 2588-2592, IEEE.
- Box G., Meyer R. D. (1993), Finding the Active Factors in Fractionated Screening Experiments, *Journal of Quality Technology*, 25, 94-94.
- Department of Motor Vehicles (2019), *Autonomous Vehicle Disengagement Reports*, State of California.
- Fagnant D. J., Kockelman K. (2015), Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations, *Transportation Research A*, 77, 167-181.
- Gkartzonikas C., Gkritza K. (2019), What Have We Learned? A Review of Stated Preference and Choice Studies on Autonomous Vehicles, *Transportation Research C*, 98, 323-337.
- Gyeonggi Province (2019), *Study on the Operation of the Pangyo Zero Shuttle (Ⅱ)*.
- Gyeonggi Research Institute (2017), *Outlook of the Introduction of Autonomous Vehicle and the Change in Transportation Use Environment*.
- Gyeonggi Research Institute (2020), *A Study of Inferring Factors of the Commuter’s Mode Choice Considering the Introduction of the Autonomous Driving Shuttle Services*.
- Hidaka K., Shiga T. (2018), Forecasting Travel Demand for New Mobility Services Employing Autonomous Vehicles, *Transportation Research Procedia*, 34, 139-146.
- Hong D. H., Park K. A. (2011) *Smart Mobility: The Future of Transportation Services*, Research Report, 2011-20, Korea Transport Institute.
- Jang H. B., Ahn K. W., Lim S. H., Woo S. K., Kim J. H., Song T. J., Kim B. I., Kim Y. W. (2019), *Planning Regulation Framework of Ride-sharing Service and Investigation of New Mobility Integration Trend*, Korea Transport Institute

Research Report.

- Kamel J., Vosooghi R., Puchinge. J., Ksontmi J., Sirin G. (2019), Exploring the Impact of User Preferences on Shared Autonomous Vehicle Modal Split: A Multi-agent Simulation Approach, *Transportation Research Procedia*, 37, 115-122.
- KPMG (2015), *Connected and Autonomous Vehicles - The UK Economic Opportunity*.
- Krueger R., Rashidi T. H., Rose J. M. (2016), Preferences for Shared Autonomous Vehicles, *Transportation Research C*, 69, 343-355.
- Kuchekar A. B., Pawar A. P. (2014), Screening of Factors using Plackett-Burman Design in the Preparation of Capecitabine-loaded Nano Polymeric Micelles, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(5), 489-496.
- Kwak J. D. (2019), On the Future Contents to Lead the 4th Industrial Revolution, *N Content*, 11, 60-63.
- Lee B. J., Yook D. H., Kim G. H. (2017), An Evaluation of the Impacts of Autonomous Vehicles on Use of national Territory, *Korea Research Institute of Human Settlements*.
- Lee Y. J. (2017), MaaS (Mobility as a Service), *Monthly Transport*, 235, 56-57.
- Litman T. (2016), *Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implication for Transport Planning*, *Victoria Transport Policy*.
- Morikawa T., Sasaki K. (1998), Discrete Choice Models with Latent Variables using Subjective Data, *Travel Behavior Research: Updating the State of Play*, 435-455.
- Narayanan S., Chaniotakis E., Antoniou C. (2020), Shared Autonomous Vehicle Services: A Comprehensive Review, *Transportation Research C*, 111, 255-293.
- Park J. Y., Woo S. K., Lee D. Y. (2011), Impact Analysis of Autonomous Vehicles and Policy Implications, *Research Report*, RR-18-01.
- Salihu A., Bala M., Bala S. M. (2013), Application of Plackett-Burman Experimental Design for Lipase production by *Aspergillus Niger* using Shea Butter Cake, *ISRN Biotechnology*, Article ID 718352.
- Schwab K. (2016), *The Fourth Industrial Revolution: What It Means, How to Respond*, *World Economic Forum*.
- Timmermans H. J. P., Arentze T. A., Joh C. H. (2002), Analysing Space-time Behaviour: New Approaches to Old Problems, *Progress in Human Geography*, 26(2), 175-190.
- Tyssedal J., Grinde H., Røstad C. C. (2006), The Use of a 12-run Plackett-Burman Design in the Injection Moulding of a Technical Plastic Component, *Quality and Reliability Engineering International*, 22(6), 651-657.
- US DOT (2018), *Low-Speed Automated Shuttles: State of the Practice*, Final Report.
- Vosooghi R., Puchinger J., Jankovic M., Vouillon A. (2019), Shared Autonomous Vehicle Simulation and Service Design, *Transportation Research C*, 107, 15-33.
- World Economic Forum, <https://www.weforum.org>, 2020.6.4.
- Yoon T. G., Lim Y. T., Park J. I., Lee H. K., Yeon G. B., Jung K. Y. (2019), Strategies to Implement Autonomous Public Transit: Focusing on Autonomous Bus Rapid Transit and Shuttle Services, *Research Report*, 17-19.