서울시 Mobility-as-a-Service 시스템에서의 통근자 교통 대안 선택 모형 구축

김영서¹ · 김의진² · 김동규^{3*}

¹서울대학교 건설환경공학부 연구원, ²서울대학교 건설환경공학부 박사수로,

³서울대학교 건설환경공학부 부교수

Developing Commuters' Transportation Alternative Choice Model in Seoul Mobility-as-a-Service

KIM, Youngseo¹ · KIM, Eui-Jin² · KIM, Dong-Kyu^{3*}

¹Researcher, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

*Corresponding author: dongkyukim@snu.ac.kr

Abstract

Mobility as a service (MaaS), which integrates information of travel modes and its related services into a single platform, has generated considerable recent attention and research interest owing to its convenience. Recently Korean government planned to launch the MaaS which integrates existing and innovative mobility services by providing booking and payment through a single application, thus provides convenient, seamless travel experience to domestic people. Although many researchers anticipate MaaS will bring a shift from car-centric to transit-centric mobility pattern, it is also possible that MaaS increase ridership of fossil-fuel vehicle. Understanding the impact of MaaS on people's choice behavior beforehand is critical to successfully implement MaaS and to minimize social disorder. Thus, the objective of our research is to investigate user preference to transport alternatives available in the MaaS system. We conducted a stated choice experiment with five alternatives including mode combinations and obtained 1,556 valid samples. We developed two separate nested logit models which can assuage independence of irrelevant alternatives problems. Each model showed satisfying results in that the values of robust r-square were 0.297, 0.310, respectively. Finally, we revealed how socio-economic variables, workplace variables affect the preference of each nested structure. The results of this paper will be helpful to platform operators when building marketing strategies and designing a customized travel mode recommendation system.

Keywords: discrete choice analysis, mobility-as-a-service, multi-modal route, nested logit model, stated preference survey

초록

Mobility-as-a-Service (MaaS)는 다양한 교통수단과 관련 서비스들을 통합한 하나의 플랫폼으로서 이동 편의성을 증진하고 지속 가능한 교통체계로의 변화를 유도할 것이라는 점에서 세계적인 관심을 받고 있다. 최근 한국 정부에서도 MaaS의 국내 도입을 추진 중이며 기존 교통

J. Korean Soc. Transp.
Vol.38, No.4, pp.292-308, August 2020
<https://doi.org/10.7470/jkst.2020.38.4.292>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 27 May 2020

Revised: 20 June 2020

Accepted: 23 July 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.

수단과 혁신 교통수단을 통합한 새로운 대안을 제시하고 간편한 예약 및 결제로 보다 편리하고 완결성 있는 통행을 돕는 어플리케이션 형태의 서비스를 개발 중이다. 다수단 통합 플랫폼인 MaaS는 복합 수단의 활용성을 크게 높여, 차량 중심 교통체제에서 대중교통 중심 교통체제로의 전환을 기대하게끔 하지만 오히려 차량기반 수단 이용률을 높이는 부작용을 야기할 수도 있다. MaaS로 인한 교통 체계의 혼란을 최소화하고 한국형 MaaS를 성공적으로 자리매김하기 위해서는 사용자의 수단 선택 행태를 사전에 이해하고 전략을 수립하는 것이 필수적이다. 따라서 본 연구는 MaaS 시스템 내에서 선택 가능한 교통 대안들에 대한 사용자 선호를 파악하는 것을 목적으로 한다. 수도권 통근자를 대상으로 복합 수단을 포함한 5가지 대안 중 가장 선호하는 통근수단을 선택하는 현시 선호 조사를 수행하였으며 최종적으로 유효한 샘플 1,556개를 얻었다. 설문조사에 포함된 수단들의 대안간 독립성 문제를 완화할 수 있는 두 가지 구조의 네스티드 로짓모형을 추정하고 결과를 분석했다. 추정된 모델들의 적합도를 평가하는 Robust r-square 값은 두 모델 각각 0.297, 0.310로 만족스러운 값을 보였으며 영향변수들의 해석에 있어 높은 일관성을 보여주었다. 본 논문은 최종적으로 이용자의 사회경제적 특성에 따라 달라지는 네스티드 선호를 밝혔으며 이러한 분석 결과는 플랫폼 운영자가 이용자 그룹별 맞춤형 홍보 전략을 수립하거나 수단 및 경로 추천 시스템을 개발할 때 활용할 수 있다.

주요어: 이산 선택 모형, MaaS, 복합 수단 경로, 네스티드로짓모형, 현시선호조사

서론

승용차 이용률을 낮추기 위한 교통정책은 지속적으로 시행되어왔다. 초기의 정책의 초점은 경전철과 같은 신 대중교통 도입이나 공유 자동차, 공유 자전거와 같은 공유경제 기반의 단일 신 교통수단 도입이 주를 이루었다. 최근 정보통신 기술의 발전으로 다양한 교통 정보에 대한 실시간 처리가 가능해지면서 새로운 교통수단의 도입을 넘어 기존 교통수단을 효과적으로 조합하여 시간과 비용을 줄이는 교통수단 통합 서비스에 대한 관심이 증가했다. 이러한 흐름에 발맞추어 Mobility as a service(MaaS)라는 새로운 개념이 교통 분야의 화두로 떠올랐다(Jittrapirom et al., 2018). MaaS는 다양한 대중교통, 개인교통수단, 공유교통 수단을 하나로 통합한 디지털 플랫폼이다. 맞춤형 모빌리티 패키지를 제공하며 일정 계획, 예약, 실시간 교통정보 제공, 발권, 지불 등 이동에 수반되는 서비스들을 하나의 인터페이스에서 제공한다(Kamargianni et al., 2018). MaaS에 대한 통용되는 학술적 정의는 아직 존재하지 않으며, 국가별로 지역적 실정에 맞추어 각기 다른 형태의 MaaS를 채택하고 있다. Figure 1은 Sochor et al.(2016)이 제시한 MaaS의 4단계의 서로 다른 형태를 보여준다. 저자는 각각의 단계는 반드시 순차적으로 진행되는 것이 아니며 제시된 여러 단계 중 한 단계에만 속하더라도 MaaS의 범주로 분리될 수 있다고 강조하며 MaaS를 넓은 관점에서 정의했다.

Figure 1. Mobility-as-a-service Scheme

국토교통부는 2020년부터 본격적으로 한국에 MaaS를 도입하려고 하며, 버스, 지하철, 택시, 공유 자동차, 공공 자전거 등 다양한 교통 수단을 하나의 플랫폼에 통합시키려한다(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2019). MaaS는 스마트폰 어플리케이션 형태의 서비스로 구현될 예정이며 출발지와 목적지를 입력하면 실시간으로 다양한 수단을 이용해 목적지에 도달할 수 있는 최적 경로를 제시해주고 해당 어플리케이션 내에서 자동 예약 및 결제까지 진행할 수 있다. 한국에서 기획하는 마스는 Sochor et al.(2016)의 관점에서 보았을 때 MaaS의 1, 2단계에 해당한다. 이러한 단계에 속하는 MaaS는 한국뿐 아니라 전 세계에서 계획된 MaaS 시스템 13개 중 10개가 채택한 가장 보편적인 형태의 서비스이다(Durand et al., 2018).

MaaS 시스템의 도입이 사람들의 행동 패턴을 변화시킬 것은 자명하다. 다수단 통합 플랫폼인 MaaS는 복합 수단의 활용성을 크게 높여, 차량 중심 교통체제에서 대중교통 중심 교통체제로의 전환을 기대하게 한다(Mulley, 2017; Durand et al., 2018). 이는 다양한 수단 간 환승이 반영된 경로 정보가 제시되고 다 수단 예약 및 결제가 통합되어 편의성이 증대된다면 자주 이용되지 않았던 수단 조합도 충분히 자주 이용될 가능성이 있기 때문이다. 이렇듯 많은 연구자들이 편리한 MaaS 서비스는 자가용 소유의 대체재가 될 것이라 기대했지만, MaaS의 도입이 사람들의 선택 행태를 의도치 않은 방향으로 변화시킬 수도 있음을 경고하는 목소리도 있다(Matyas and Kamargianni, 2018). MaaS의 도입으로 기존 승용차 사용자들의 수단 선택 변화는 일어나지 않고, 오히려 자전거나 대중교통 이용자들이 화석연료 기반 차량 서비스를 이용하기 시작한다면 기대와는 정반대의 결과가 일어날 것이다. 실제로 국외 현장 조사결과 MaaS가 카셰어링, 카쉐어링 등 차량기반 수단 이용률을 오히려 높인다는 것이 보고되기도 했다(Sochor et al., 2016).

따라서 본 연구의 핵심 목표는 MaaS 도입 이후 (1) 복합수단에 대한 선택 행태 (2) 차량 중심 교통수단에 대한 선택 행태 특성을 조사하는 것이다. 본 연구에서는 서울 시내 통근 통행에 집중한다. The Seoul Institute(2018)은 서울형 MaaS가 속도와 가격 경쟁력이 높은 대중교통 중심으로 통행할 수 있게끔 하고 기타 다양한 교통수단을 이용해 편리하게 접근할 수 있는 여건을 구축해야 한다는 점을 시사했다. 이에 따라 본 연구에서는 주수단인 대중교통에 편리하게 접근할 수 있는 보조적인 다른 교통수단을 통합한 수단 조합을 MaaS의 도입에 따라 새롭게 제안될 복합수단으로 바라본다. 본 연구는 MaaS가 도입된 가까운 미래의 상황을 가정하고 어플리케이션 사용자가 MaaS가 추천하는 교통 대안이 포함된 경로 정보를 제공받았을 때 어떤 교통 대안을 선택할지를 모형화한다. 아직 국내에 도입되지 않은 MaaS 서비스 도입 시의 선택 행태를 관찰하기 위해 가상의 상황에 대한 개인의 의사결정을 유도하는 잠재 선호(Stated Preference, SP)조사를 수행한다. 본 연구의 결과는 가까운 미래에 도입 예정인 한국의 MaaS 시스템에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 향후 한국형 마스가 3, 4단계로 나아가기 위한 초석이 될 수 있다.

기존 문헌 고찰

MaaS는 최근 학계의 많은 주목을 받으며 관련 연구가 국내 외에서 급속도로 늘어나고 있다. 국내 선행 연구는 MaaS의 개념을 정의하고 해외 사례를 소개하며 국내 도입 방안을 모색하는 정성적인 연구가 주를 이루었다(The Seoul Institute, 2018). 최근에 들어서는 국내 연구진들도 MaaS 시스템의 실질적 국내 도입을 위해 실증적이고 정량적인 분석 연구를 시작하고 있는 추세이다. Han(2019)은 SP 조사를 이용하여 MaaS 패키지 선택에 대한 영향 요인을 분석하였다. 분석 결과 기존 통행 행태가 MaaS 패키지 속성에 유의미한 영향력이 있는 것으로 드러났다. Lee et al.(2019b)의 연구에서는 점진적 로짓 모형을 활용해 MaaS 시행 전후 수단분담률과 그에 따른 수입을 산출하였으며, 시나리오 분석을 통해 적정 요금할인률 값 2.56%를 도출하였다. Yoon(2019)은 교통 수요 모델링 네트워크를 정립하고 현행 대중교통 체계에 공공자전거, 카셰어링의 실제 운영 현황을 통합한 네트워크를 구축하여 최적의 경로 대안을 추출할 수 있게끔 했다.

보다 심층적인 이해를 위해 국외의 MaaS 실증 연구도 살펴보면 크게 두 가지 유형, 파일럿 테스트와 관련된 연구, SP 조사 기법을 활용한 연구로 나눌 수 있다. 먼저, 파일럿 테스트와 관련된 선행 연구들은 Smile과 Ubigo 프로젝트

를 다루었다. 프로젝트 시행 전과 후의 통행 행태 변화 뿐 아니라 교통수단에 대한 사람들의 인식 및 태도 변화와 이용 만족도 등을 조사했다. 두 파일럿 테스트는 모두 사전에 테스트에 참여하는 것에 동의한 젊은 나이대의 도시 거주자들을 대상으로 진행되었다. Smile 프로젝트는 오스트리아 비엔나에서 진행된 6개월의 2단계 MaaS 시범사업이다 (Smile Mobility, 2015). 1,000명이 넘는 참가자가 플랫폼을 이용해 본 후 응답한 온라인 설문 조사에서 75%의 응답자가 시스템에 만족한다고 응답했다. 또한 48%의 응답자가 대중교통을 지금보다 더 많이 이용할 것이라고 답했다. Ubigo 프로젝트는 스웨덴 고텐버그에서 진행된 6개월의 3단계 MaaS 시범 사업이다 (Sochor et al., 2016; Strömberg et al., 2016). 195명의 참여자들이 참여하였고 테스트 전과 테스트 기간의 수단 선택 비율 변화를 살펴보았을 때, 참여자들의 자가용 이용률은 50% 감소하였고, 공유자동차의 사용이 특히 증가하였다.

다음으로 SP 조사 기법을 활용한 연구를 살펴보자. Alonso-González et al.(2017)은 암스테르담에서 797명을 대상으로 SP 조사를 시행했다. 해당 SP 조사에서 응답자는 자가용, 대중교통, Demand Responsive Transport(DRT), 택시, 총 4개의 교통 수단 중 가장 선호하는 하나의 대안을 선택한다. 저자는 자가용 보유자와 미보유자를 나눠 분석하여 두 이용자 그룹간의 선택 행태 차이를 분석하였다. Ratilainen(2017)은 헬싱키에서 252명을 대상으로 설문조사를 진행했다. 응답자는 제시되는 2개의 월정액 패키지 중 하나를 선택하거나, 아무 대안도 선택하지 않을 수 있다. 대중교통, 공유자동차, 택시, 공유자전거가 월정액 구독 서비스에 포함되었다. Matyas and Kamargianni(2018)와 Kamargianni et al.(2018) 연구는 런던에서 진행되었으며 각각 1,068명, 1,570명을 대상으로 설문조사를 진행하였다. 응답자는 3개의 월정액 MaaS 대안을 제공받고 가장 선호하는 대안을 하나 선택한다. 이후 응답자는 무조건 구독, 구독을 고려 중, 스스로 설계한 플랜 선택, 구독 안함 총 4개의 옵션 중 한개를 선택한다. Ho et al.(2018)은 시드니에서 252명에게 SP 조사를 시행하여 MaaS의 잠재 시장 규모를 파악하고, 잠재 고객들이 MaaS 내 서비스들에 얼마만큼의 가치를 부여할지 조사했다. 사용자의 현재 통행 경험 정보를 기준으로 삼아 기준점을 중심으로 피벗 된 두 개의 옵션과 사용자가 스스로 서비스를 설계할 수 있는 옵션 하나를 추가로 제시한다. 응답자는 기존 대안을 유지할 수 있고, 제시된 세 개의 2주 구독 플랜 중 하나를 구매할 수도 있다.

앞서 언급된 SP 선행 연구들과 우리의 연구의 가장 큰 차이는 MaaS의 서비스 형태를 어떻게 정의했는지에서 기인한다. MaaS는 해당 지역의 교통 시스템, 통행 패턴 등에 따라 지역화된 서비스로 제공되기 때문에 (Lyons et al., 2019) 한가지로 정형화 할 수 없고 국가별, 지역별로 다양한 형태로 존재할 수 있다. Ratilainen(2017), Matyas and Kamargianni(2018), Kamargianni et al.(2018), Ho et al.(2018)의 연구는 모두 월정액 MaaS 플랜의 구독 선호도를 파악하는 Figure 1의 MaaS 3단계에 해당하는 연구이다. 반면, 우리가 설계한 MaaS는 Figure 1에서 1, 2단계에 속한다. 이러한 단계의 MaaS는 한국뿐 아니라 전 세계 MaaS 계획 13개 중 10개가 채택한 가장 보편적인 형태의 서비스임을 밝힌다 (Durand et al., 2018). 월정액 패키지를 제공하는 MaaS 시스템을 다룬 연구에서는 특정 수단의 포함 여부와 묶음 할인 등 패키지 특성에 따른 사용자의 지불 용의액을 조사하는 것이 주된 연구 이슈였다. 반면, 교통수단 통합 정보가 제공되고 통합 예약 및 결제 서비스가 제공되는 MaaS 시스템을 다룬 우리 연구에서는 특정 출발지-목적지를 이동할 수 있는 마스 대안에 대한 정보가 기존 교통수단에 추가로 주어졌을 때 사람들이 어떤 교통 대안을 선택하는지 파악하는 것이 중요한 연구 이슈이다. 우리와 같이 1,2단계에 속하는 MaaS를 다루는 Alonso-González et al.(2017) 연구와의 차이점은 연구에서 주목하고자하는 MaaS 대안에 있다. 해당 연구에서는 암스테르담에서 DRT 수단이 MaaS의 핵심 교통 수단이 될 것이라 판단하였고, 본 연구에서는 서울에서의 주요 MaaS 대안은 대중교통 중심의 복합 수단으로 구성될 것이라고 판단하였다는 점에서 차이가 있다.

정리하면, 서울형 MaaS 시스템 내에서의 사용자 수단 선택 모형을 구축하는 본 연구는 위에서 언급한 국내 정량적 분석 연구들과 함께 MaaS의 성공적 국내 도입에 기여할 수 있으며, 이와 동시에 유사한 형태의 MaaS를 도입하고자 하는 해외 연구진에게도 기여할 수 있다.

분석 방법론

우리는 통근 목적 통행을 위한 수단 선택 행태를 조사하기 위해 선택 행태 모형화에 주로 사용되는 이산선택분석(Discrete choice analysis, DCA) 기법을 사용하였다(Ben-Akiva et al., 1985). 이러한 분석 방법은 사람들은 자신의 효용을 최대화하는 수단을 선택한다는 경제학 이론인 랜덤 효용 이론(random utility theory)을 기반으로 한다. 또한 모형화를 위한 자료수집을 위해서는 아직 도입되지 않은 교통수단의 선호를 알아보는 데 적절한 SP조사 기법을 활용한다. SP조사는 교통수단 특성의 상대적 변화에 따른 선택의 변화를 직접적이고 효과적으로 알 수 있다는 장점이 있다. 통행 목적에 따라 선택 행태가 달라지기 때문에 구체적인 통행 목적을 설정할 필요가 있었으며 본 논문에서는 다양한 목적 통행 중 통근 목적 수단 선택에 초점을 맞추고자 한다. 통근통행은 목적 통행 중 가장 많은 비율을 차지하며 경제 활동의 기본이 되는 통행으로 중대한 연구 가치를 지닌다.

1. 연구 대상 범위와 지역적 특성

우리 연구의 공간적 범위는 서울이다. 서울은 대한민국의 수도이자 가장 큰 도시로 넓이는 605.25km²이다. 면적은 대한민국 전 국토의 0.6%를 차지하지만, 약 970만 명의 인구가 살고 있는 포화된 도시이다. 서울은 대중교통 네트워크가 잘 정착되어있고 선불 교통카드 혹은 후불 신용카드로 결제하며 버스와 지하철간 환승 할인이 적용된다(Lee et al., 2019a). 서울특별시 통계데이터 담당관의 서울 서베이에 따르면, 서울시 통근 및 통학시 이용하는 교통수단은 버스가 25.6%, 승용차 22.6% 버스+지하철이 19.4%, 지하철이 12.2%, 도보 16.1%로 나타났다(Seoul Survey, 2017). 이는 현재 서울의 출퇴근은 승용차와 대중교통 중심이라는 것을 보여준다.

대중교통 이외에 출퇴근 교통수단으로 활성화될 가능성이 언급되는 교통수단은 카풀, 공공자전거, 택시가 있다. 미국 등 다른 나라에 정착된 Uber, Lyft는 여객자동차 운수 사업법 81조에 의해 사업용 자동차로 등록되지 않은 차량이 돈을 받고 운송행위를 하는 것을 금지하는 법령 때문에 현재는 국내에 적용 불가능한 비즈니스 모델이다(Passenger Transport Service Act 81, 2019). 하지만 출퇴근 시간에는 예외적으로 카풀을 허용하기 때문에 몇몇 유사 카풀 서비스가 운영되고 있다. 대표적인 공유 자전거로는 2015년 10월부터 본격적으로 정식 운영을 시행한 서울시 무인 공공자전거 대여 서비스가 있다. 18년 기준으로 대여소는 25개 모든 자치구에 총 1,300곳이 있으며, 자전거 수는 2만대로 가장 대중화된 공공자전거 서비스인 프랑스 파리의 벨리브 2만 3,600대에 육박하는 수치이다. 일일권과 정기권으로 나뉘는데 일일권의 경우 기본 1시간 1,000원 2시간 2,000원이다. 정기권의 경우 7일, 30일, 180일, 365일 단위로 끊을 수 있으며 30일권을 기준으로 휴일 제외 20일간 이용한다 가정하면 하루 250원에 이용 가능하다. 1년 정기권의 경우 대중교통과의 환승 마일리지 혜택도 적용되며 이는 공공자전거 활성화를 위해 확대될 계획이다. 택시의 경우 현재 2019년 11월 기준 기본요금은 3,800원이며 거리요금은 132m당 100원, 시간요금은 31초당 100원이다. 한 여행 정보 사이트의 3km 이동시 택시요금 비교에 따르면 조사된 전체 88개 도시중 서울은 61위로 저렴한 편이다(Price of Travel, 2017). 2015년 3월 한국에는 카카오택시라는 콜택시 어플리케이션 서비스가 등장하여 2017년 11월 기준 출시 3여년 만에 누적 승객수 1,371만 명을 넘어섰다(Kakao Report, 2018).

2. 설문 조사 설계

총 389명을 대상으로 온라인 설문을 진행하였으며, 설문은 크게 세 파트로 구성된다. 첫 번째 파트에서는 사용자가 설문 조건에 부합하는지를 확인하였다. 우리 설문의 대상은 서울, 경기, 인천 지역 거주자 중 서울시 지하철을 이용할 수 있는 사람이 대상이며 정기적인 출퇴근을 하는 사람이어야 한다. 또한 전체 구간을 도보, 개인 자전거 등으로 출퇴근하는 사람은 설문 대상에서 제외하였다. 사용자가 설문 대상에 부합하는 경우 사용자의 성별, 나이, 교육 수준, 소득 등의 사회경제적 특성을 수집하고, 사용자의 대안집합을 설정하기 위해 면허 소지여부, 자동차 소유 여부, 자전거 이용가능 여부 등을 조사한다. 자가용과 자전거 이용 가능 여부에 따라 응답자는 총 4개의 그룹 중 하나

에 할당되며 세 번째 파트의 선택 대안집합이 바뀐다. 자가용과 자전거가 모두 이용 가능한 경우 집단 1에, 자가용 이용이 불가능한 경우 집단 2에, 자전거 이용이 불가능한 경우 집단 3에 할당된다. 마지막으로 자가용과 자전거 모두 이용이 불가능한 경우 집단 4에 할당된다. 두 번째 파트는 MaaS와 설문 상황에 대한 설명이다. MaaS는 생소할 수 있는 개념이고, 포함된 교통 수단 역시 생소할 수 있기 때문에 2페이지 가량의 상세한 설명을 설문 과정에 포함하였다. 복합 수단으로 이루어진 추천 경로를 제공해줄 뿐 아니라 앱 간 이동 없이 한번에 여러 교통수단의 예약이 가능하고 미리 등록된 카드로 복수의 수단에 대한 이용요금을 간편하게 결제할 수 있다고 설명했다. 현재 사용되는 네이버 지도 및 카카오맵에서의 다수단 추천 서비스와 다른 점은 각각의 수단의 최적 경로만을 추천해주는 것이 아니라 그 수단들의 조합으로 이루어진 경로도 추천해준다는 점과 실제로 한 플랫폼 내에서 예약과 결제까지 가능하다는 점을 응답자가 인지할 수 있도록 했다. 이후 이용자가 확실히 이해했는지 확인하기 위해 이해도 테스트 문항을 넣었으며 Figure 2와 같은 이해도 테스트에 통과하지 않으면 설문을 진행할 수 없게 설계했다. 이해도 테스트를 통과하고 끝까지 실험을 진행한 사람은 총 389명이었다.

Figure 2. Comprehension test (translated from Korean)

세 번째 파트는 설문의 가장 핵심이 되는 파트로 본격적인 실험 설계가 진행된 부분이다. 다음날의 출근을 위한 선택 시나리오가 주어지는데 집단1의 응답자를 예로 들면 Figure 3과 같이 제시된 5가지 교통 대안 중 가장 선호하는 교통 대안 1개를 선택한다. 교통 대안 5가지의 선정 과정에 대한 설명은 이후에 선택 대안 집합 선정 파트에서 자세히 언급하고자 한다. 맑은 날의 통행을 가정하며 출근 전날 다음날의 통근통행을 위한 수단을 미리 선택하는 상황을 가정한다. 선택 시 예약이 가능한 수단의 경우 자동으로 예약된다고 명시했다. 제시된 예상 통행시간과 도보 시간은 예상 값이기 때문에 실제로는 당일의 도로상황이나 교통수단의 특성에 따라 달라질 수 있다는 사실도 명시하였다. 응답 부담을 덜기 위해 출발부터 도착까지의 과정을 도식화하여 시각적으로 표현하였다. 통근 통행은 출근과 퇴근으로 나뉘지는데 응답자가 가상의 상황에 더 잘 입입할 수 있도록 하기 위해 출근 통행으로 대표하여 표현하였다. 한사람 당 이와 같은 선택을 총 5번 하게 된다. 응답의 신뢰도를 확인하기 위해 첫 번째 문항과 다섯 번째 문항은 같은 상황을 제시하는 일관성 테스트를 수행하였다. 같은 두 상황에 대해서 다르게 답변한 응답자의 응답은 제외하고

분석을 진행하여 데이터의 신뢰도를 높였다. 389명중 346명만이 일관성 테스트를 통과하여 해당 응답자의 답변만이 최종 분석에 사용되었다.

	Private car	Carpool	Transit	Taxi & Transit	Bike sharing & Transit
: home : work : by walk : transfer point
Travel time (except walking time)	45 min	50 min	1 hr	50 min	1 hr
Walking time only	3 min	6 min	20 min	10 min	10 min
Travel cost	₩2,000	₩10,000	₩1,350	₩6,000	₩1,550
Number of transfers	0	0	2	1	2

Figure 3. Experimental design (translated from Korean)

3. 선택대안집합 선정

현존하는 모든 교통수단으로 조합할 수 있는 복합 수단은 무수히 많지만, 설문 응답자의 응답 부담을 줄이고 인지 오류를 줄이기 위해 선택 가능 집합을 최소화하는 과정이 필요하며 일반적으로 3-5개 정도의 대안 개수가 한번에 제시되는 수로 적합하다고 알려져 있다(Hensher, 2010). 5가지 선택대안 집합은 한국의 지역적 특성에 맞추어 MaaS 도입 시 출퇴근 교통 수단으로 이용될 여지가 있는 5가지 교통 대안인 승용차, 대중교통, 카풀, 대중교통+택시, 대중교통+공공자전거로 설정하였다. 5가지 교통대안은 주로 이용되는 단일 수단과 이용될 가능성이 높은 복합수단으로 구성되었다. 단일 수단의 경우 현재 출퇴근 목적으로 가장 많이 이용되는 승용차와 대중교통이 우선적으로 포함되었다. 서울을 포함한 수도권의 경우 현재 대중교통 통합요금제 시행으로 인하여 승객들은 버스과 지하철 구분 없이 환승 할인 혜택을 받고 있으며, 빈번한 환승으로 인해 주수단의 개념이 모호해진다. 실제로 Kim et al.(2017)의 연구에서 통근통행의 경우 버스와 지하철을 하나의 네스티드 구조로 묶은 것이 적절한 것으로 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 버스와 지하철을 구분하지 않고 대중교통으로 통합하여 명시하였다. 택시는 한국에서 잘 자리잡은 교통 수단임에도 출퇴근 시 선택 비율이 0.1%로 단일 교통수단으로 거의 이용되지 않기 때문에(Seoul Survey, 2017) 제외하였다. 출퇴근 통행시 카풀은 택시와 비슷한 수준으로 현재 한국에서는 활성화되어있지 않지만, 출퇴근 시 카풀 서비스는 합법이며 Sochor et al.(2016)의 실증연구에서 증명되었듯 MaaS의 도입으로 가장 많이 활성화될 수단으로 여겨진다. 따라서 카풀은 택시에 비해 단일 교통수단으로서도 미래 이용 수요가 증가할 수 있는 가능성이 더 높을 것이라 판단하여 추가하였다.

MaaS 복합 수단의 경우 3가지 이상의 수단이 조합된 상황은 연구에서 설정된 30분-1시간의 통행시간 상황에서 경쟁력이 없다고 판단해서 고려하지 않았고, 2가지의 수단이 조합된 경우만 고려했다. MaaS에 포함된 수단 2가지를 조합하면 경우의 수가 너무 많아 선택대안 집합이 늘어나고, 이는 설계의 부담을 증가시킨다. 따라서 가장 이용될 가능성이 높은 대중교통 중심의 복합수단만을 고려했다. 이는 75% 이상의 사용자들이 복합 수단 경로를 이용할 때 대중교통 중심으로 구성한다는 사실을 밝힌 Miramontes et al.(2017)의 실증 연구에 근거한다. 대중교통 중심으로

결합될 수 있는 수단은 택시와 공공자전거가 선정되었다. 대중교통으로의 접근성이 낮은 지역에서 대중교통까지의 접근 교통수단으로 택시가 이용될 경우 시간과 가격, 편의성 측면에서 경쟁력을 가질 수 있다고 판단하였다. 택시는 출퇴근 시 선택 비율이 0.1%로 단일 교통수단으로 거의 이용되지 않으나(Seoul Survey, 2017) 앱 기반 호출 택시가 대중교통 정류장 부근에서 많이 이용되는 현상을 볼때(Kakao Report, 2018) 한국에서 자리 잡은 어플리케이션 기반 콜택시 서비스인 카카오택시와 연계하면 대기시간과 접근성면에서 경쟁력있는 수단 조합이 될 수 있을 것이라 기대한다. 반면 카풀은 접근 교통수단으로서 이용되기에는 택시에 비해 매칭 시간과 대기 시간 측면에서 서비스 수준이 낮을 것이기 때문에 택시 대비 경쟁력이 약하다고 판단하고 제외하였다. 공공자전거 서울 내 대부분의 지역에서 공공자전거 대여소에 쉽게 접근 가능한 수준으로 공공자전거 네트워크가 잘 구축되어 있으며, ‘정류장 옆 대여소’ 설계 원칙 및 마일리지 정책 등으로 서울시 차원에서 대중교통과의 연계를 장려하고 있기 때문에 경쟁력을 가질 수 있는 수단이라고 판단했다.

이용자의 입장에서 5가지 선택 대안의 의미를 다시 정리하면, 승용차와 대중교통은 통근 수단을 위한 기존 선택지를 의미한다. 전체 수단 분담 중 본 설문 상황에서도 제외된 도보이동 16.1%를 제외한 83.9% 중 승용차와 대중교통은 79.8%의 수단 분담률을 보이며, 사실상 현재 대다수의 사람들은 통근 수단으로 승용차와 대중교통만을 주로 인식하고 있다고 할 수 있다. 하지만 이러한 선택 가능 교통 대안에 대한 인식은 사람들이 MaaS내 다수단 통합 제공 서비스를 이용함으로써 확장될 수 있다. 대중교통+택시, 대중교통+공공자전거는 현재는 거의 이용되지 않는 대안이지만(Seoul Survey, 2017) 편리한 환승을 위한 최적 경로 정보가 제공되고 편리한 예약 및 결제 시스템이 다수단 경로 이용의 서비스 수준을 향상시킨다면 이용자가 다수단 대안을 이용할 여지가 있다고 판단하였고, 이러한 가설은 실제로 향후 설문 결과의 이용자의 수단 선택 분포에서 타당한 것으로 확인되었다.

Table 1. Attribute levels

Mode	Attribute	Attribute level
Private car	Operation time	45 min
	Walking time	0 min
	Travel cost	2,000 KRW
	Number of transfers	0
Carpool	Operation time	35 min, 45 min, 55 min
	Walking time	3 min, 6 min, 9 min
	Travel cost	6,000 KRW, 8,000 KRW, 10,000 KRW
	Number of transfer	0
Public transportation	Operation time	48 min, 1 hr, 1 hr 12 min
	Walking time	16 min, 20 min, 24 min
	Travel cost	1,350 KRW
	Number of transfers	0,1,2
Public transportation & Taxi	Operation time	40 min, 50 min, 1 hr
	Walking time	6 min, 10 min, 14 min
	Travel cost	4,000 KRW, 5,000 KRW, 6,000 KRW
	Number of transfer	1, 2
Public transportation & Bike-sharing	Operation time	48 min, 1 hr, 1 hr 12 min
	Walking time	10 min, 15 min, 20 min
	Travel cost	1,350 KRW, 1,550 KRW
	Number of transfers	1,2

Table 1에 드러난 각 교통수단의 속성수준은 서울시 통근통행을 대표할 수 있는 값으로 설정되었으며 사전 조사를 통해 현실적인 수준으로 결정되었다. 교통 대안의 속성 중 통행시간은 서울시 출퇴근 시간 분포를 참고하여 설정하였다. Seoul Survey(2017)에 따르면 서울시 평균 출퇴근 시간에서는 30분-1시간 미만이 49.1%로 가장 많았고, 다음이 30분 미만 39.0%, 1시간 이상은 11.9%였다. 30분 미만의 출근 통행은 39%로 두 번째로 많은 비중을 차지하지만 이 경우 MaaS가 제공하는 복합 수단이 경쟁력을 가지기 어려울 것으로 판단하여 설문 대상에서 제외했다.

따라서 가장 많은 49.1%의 비중을 차지하는 30분-1시간 미만의 통행 상황이 SP 시나리오를 통해 파악하고자 하는 바이다. 각 수단별 통행시간, 도보시간, 통행요금, 환승횟수의 속성수준을 설정할 때 고려했던 것은 속성수준이 현실 수준으로 느껴지지 않으면 사용자의 응답에 bias가 생길 수 있다. 따라서 사전 설문을 이용해 해당 OD에 대해서 현실 수준으로 느껴질 수 있도록 설계하였다. 또한 경로 상 모든 값을 보여주기보다 전체 합산 값으로 제시했는데 각각의 단위 시간과 비용을 비교하기보다는 전체 시간 및 비용을 하나의 속성으로 인식하기 원했기 때문이다. 이렇게 설정된 속성수준을 바탕으로 최종 설문은 D-efficiency approach를 기반으로 설계되었다(Rose and Bliemer, 2009).

4. 응답자 분포

Table 2는 총 346명의 응답자의 개인 특성 변수와 관련된 통계치를 드러낸다. 전체 응답자의 성별과 나이대는 동일한 수준으로 할당되었다. 교육 수준 변수를 살펴보면 최종학력이 고등학교인 사람의 경우 11.6%, 최종 학력이 대학교 졸업 이상인 경우 88.4%를 차지했다. 가구소득 변수를 살펴보면 월간 가구소득이 500만원 이상인 사람들은 37.0%, 500만원 미만인 사람들은 63.0%의 비율을 차지했다. 직장 내 복장 규정에 대한 변수를 살펴보면 정장이나 비즈니스 캐주얼을 입어야하는 엄격한 복장 규정을 지닌 직장에 다니는 사람들은 49.1%, 별도의 규정이 없는 직장에 다니는 사람들은 50.9%를 차지했다.

Table 2. Respondents' demographic distribution (N=346)

Items		Frequency	Distribution
Gender	Female	181	52.3%
	Male	165	47.7%
Age	20-29 years	88	25.4%
	30-39 years	83	24.0%
	40-49 years	88	25.4%
	50-59 years	87	25.1%
Education level	graduate highschool	40	11.6%
	more than college degree	306	88.4%
Household income (₩/month)	<2,000,000	26	7.5%
	≥ 2,000,000 and <3,500,000	104	30.1%
	≥ 3,500,000 and <5,000,000	88	25.4%
	≥ 5,000,000	128	37.0%
Rule of dress code	Strict dress code	170	49.1%
	Flexible dress code	176	50.9%

Table 3에는 응답자들의 현재 수단 선택 분포와 서울서베이에서 조사된 도보를 제외한 서울시민의 수단 선택 분포를 제시되어있는데 승용차와 대중교통의 수단 분담률이 매우 유사함을 알 수 있다. 이는 본 설문의 응답자들이 서울시민의 수단 선택을 적절히 대표함을 시사한다. 또한 가상의 SP 시나리오 상황에서의 수단 선택 비율을 살펴보면 대중교통 중심의 복합수단 대안을 선택하는 비율은 8.2%에서 18.5%로 크게 증가하여 MaaS의 간편한 예약, 결제로 인한 복합수단의 활성화 가능성을 시사한다. 또한 카풀도 현재 1.3%에서 7.7%로 크게 증가함을 보였다. 카풀 서비스의 서비스 수준은 해외 Uber pool 서비스와 같이 동승자와 비용을 분담함으로써 저렴한 가격에 이용될 수 있는 상황을 설정하였고, 이는 국내 카풀 서비스가 이러한 방향으로 서비스를 확대한다면 이용자들에게 어필할 수 있을 것이라는 점을 보여준다. 다만 여기서 주목할 점은 MaaS의 도입으로 기존의 승용차 이용자들이 28.0%에서 34.6%로 증가했다는 점이다. 이는 서론에서도 소개했지만 많은 선행연구에서 지적했듯 MaaS가 오히려 지속 가능한 교통체계로의 변화를 역행하는 움직임을 야기할 수 있다는 경고를 환기한다. 물론 본 설문 조사는 특정할 가설적 상황을 대상으로 하고 있기 때문에 MaaS 도입 이후의 수단분담의 결과라고 해석해서는 안되며 구축된 모델의 파라미터 값을 이용하여 보정해주는 과정이 필요하다.

Table 3. Respondents' current mode choice and results of seoul survey

Mode choice in SP		Current mode choice		Seoul Survey (2017)			
				Walking included		Walking excluded	
Private car	34.6%	Private car	28.0%	Private car	22.6%	26.9%	
Ride sourcing	7.7%	Ride sourcing	1.3%	–		–	
Transit	39.2%	Transit	61.7%	Bus	25.6%	30.5%	68.2%
				Subway	12.2%	14.5%	
				Bus+Subway	19.4%	23.1%	
E-hail taxi-to-Transit	13.3%	E-hail taxi-to-Transit	5.9%	–		–	
Bike sharing-to-Transit	5.2%	Bike sharing-to-Transit	2.3%	–		–	
–		–		Walking	16.1%	–	
–		Other	0.8%	Other	4.1%	4.9%	
Sum	100%	Sum	100%	Sum	100%	100%	

모형화 및 분석 결과

1. 모형 검토

다항로짓모형(Multinomial Logit Model)은 우리가 알고자 하는 사회 현상이 이산적인 변수의 성격을 보일 경우 적용될 수 있고 대표적인 예가 교통수단 간 선택(예, 승용차, 버스, 지하철 등)이다. McFadden(1976)은 소비자가 개인의 효용을 극대화 하는 대안을 선택한다는 이론에 근거해 다항로짓모형을 유도하였다. Equation 1은 다항로짓모형에서 사용자 n 이 대안 i 를 선택할 확률을 나타낸다.

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta_i x_{ni}}}{\sum_{i' \in I} e^{\beta_{i'} x_{ni'}}} \quad (1)$$

다항로짓모형에는 오차항이 독립적이며 동일한 weibull 분포를 따른다는 가정이 있다. 오차항에 대한 가정은 다항로짓모형으로 하여금 비관련대안의 독립성(Independence of irrelevant alternatives, IIA)을 지니게 한다. 다항로짓모형에서 비관련대안의 독립성 속성이 위배될 경우 이를 해결할 수 있는 모형이 네스티드로짓모델이다(Ben-Akiva et al., 1985). 네스티드로짓모형은 오차항이 상관되어 있는 대안들을 묶음으로 오차항의 공유 효과를 상쇄시킨다. 네스티드로짓모형은 여러 계층으로 표현되는 것이 가능하다. 가장 대표적인 2계층(two-level)의 네스티드로짓 모형식은 Equations 2-4로 표현된다. Equation 2는 상위 계층의 대안 i 를 선택할 확률이고, Equation 3은 하위 레벨의 대안 l 을 선택할 확률이다. Equation 2의 β_i 는 대안 i 의 대안 특성 변수의 계수이며 β_j 는 사용자 n 의 사회경제적 지표가 네스티드 선택에 미치는 영향을 드러내는 계수이다. Equation 4는 inclusive value로 계수인 θ_i 값에 따라 네스티드로짓모형의 구조가 유효한지 판단한다. θ_i 의 카이제곱 차이 값을 이용한 우도비 검정을 통해 네스티드 모델의 기각 및 채택 여부를 결정할 수 있다. μ_i 는 θ_i 의 역수로 정의하였다.

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta_i x_{ni} + \beta_j x_{nj} + \theta_i L_n(i)}}{\sum_{i' \in I} e^{\beta_{i'} x_{ni} + \theta_{i'} L_n(i')}} \quad (2)$$

$$P_n(l/i) = \frac{e^{\beta_{l/i} x_{ni}}}{\sum_{l' \in L_i} e^{\beta_{l'/i} x_{ni}}} \quad (3)$$

$$L_n(i) = \ln \sum_{l' \in L_i} e^{\beta_{l'} x_{ni}} \quad (4)$$

2. 모형 구축

모형 구축을 위해 가능한 모든 구조의 2계층, 3계층 네스티드 모델 구조를 추정하였다. 네스티드 구조의 유의성과 모델 적합도 등을 고려하여 Figure 4와 같이 최종적으로 두 가지 구조의 모델이 선택되었다. 두 모형은 각각 MaaS 도입 이후 (1) 복합수단에 대한 선택 행태 (2) 차량 중심 교통수단에 대한 선택 행태 특성을 시사한다. 네스티드 구조 1은 사용자가 대중교통+택시 대안이나 대중교통+공공자전거 대안을 비슷한 수단으로 인지한다는 특성을 잡아낼 수 있다. 두 경우는 모두 2개의 수단이 조합된 대안으로 사용자가 MaaS 어플리케이션을 통해 새로이 인지하게 될 경로이며 MaaS의 통합 예약 및 결제 시스템으로 추가적인 편익을 누릴 수 있는 대안이라는 점에서 공통점이 있다. Equation 6과 같은 효용함수를 가지는 네스티드 구조 2은 차량 교통수단이 포함된 모델을 비슷한 대안으로 인지한다는 특성을 잡아낼 수 있다. 이러한 구조는 사람들이 차량이 포함된 대안을 특별하게 인식한다면 성립할 수 있다. 예를 들어 가급적 친환경적인 교통수단을 선택하고 싶어하는 사람들은 승용차, 카풀, 대중교통+택시, 등 차량을 이용해야하는 대안을 피할 것이고, 반대로 차량에 탑승해 이동하는 것이 편리하다고 생각하는 사람들은 해당 대안들을 더 선택하고 싶어 할 것이다.

$$\begin{aligned} U_{private\ car} &= V_{private\ car} + \varepsilon_{private\ car} \\ U_{carpool} &= V_{carpool} + \varepsilon_{carpool} \\ U_{PT} &= V_{PT} + \varepsilon_{PT} \\ U_{PT+taxi} &= V_{PT+taxi} + V_{MaaS} + \varepsilon_{PT+taxi} + \varepsilon_{MaaS} \\ U_{PT+BS} &= V_{PT+BS} + V_{MaaS} + \varepsilon_{PT+BS} + \varepsilon_{MaaS} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} U_{private\ car} &= V_{private\ car} + V_{carbased} + \varepsilon_{private\ car} + \varepsilon_{carbased} \\ U_{carpool} &= V_{carpool} + V_{carbased} + \varepsilon_{carpool} + \varepsilon_{carbased} \\ U_{PT} &= V_{PT} + \varepsilon_{PT} \\ U_{PT+taxi} &= V_{PT+taxi} + V_{carbased} + \varepsilon_{PT+taxi} + \varepsilon_{carbased} \\ U_{PT+BS} &= V_{PT+BS} + \varepsilon_{PT+BS} \end{aligned} \quad (6)$$

Figure 4. Statistically significantly nested structures for mode choice in MaaS

대안 5개의 총 오차항은 검벨 분포를 따른다고 가정하기 때문에 Equation 5에 드러난 오차항들의 분산은 Equations 7, 8과 같다.

$$Var(\varepsilon_{private\ car}) = Var(\varepsilon_{carpool}) = Var(\varepsilon_{PT}) = Var(\varepsilon_{PT+taxi} + \varepsilon_{MaaS}) = Var(\varepsilon_{PT+BS} + \varepsilon_{MaaS}) = \frac{\pi^2}{6} \quad (7)$$

$$Var(\varepsilon_{PT+taxi}) = Var(\varepsilon_{PT+BS}) = \frac{\pi^2}{6\mu_{MaaS}} = \frac{\pi^2\theta_{MaaS}^2}{6} \quad (8)$$

3. 추정 결과

Table 4는 두개의 네스티드 모델의 결과를 각각 보여준다. 네스티드 모델 1, 네스티드 모델 2의 Adjusted rho-square 값은 각각 0.297, 0.310를 가졌다. 모형의 적합도는 0.2에서 0.4 사이의 값을 가지면 충분히 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다(McFadden, 1976). μ 값은 네스티드 구조 내의 관측되지 않은 변수의 분산의 양을 나타낸 값으로서 μ 의 역수인 θ 값이 0에서 1 사이의 값을 가지면 해당 네스티드 구조가 일반 로짓 모형에 비해 구조적 장점을 지닌다는 사실을 나타낸다(Hensher and Greene, 2002). 우도비 검정을 통해 두 네스티드 구조의 θ 값이 유의수준 0.01(허용 오차 1%)에서 1과 유의하게 차이를 검증하였다. rho-square 측면에서는 모델 2가 모델 1보다 우수하나, 네스티드 구조 내 상관성은 모델 1이 모델2보다 우수하여 두 모델 모두 병렬적으로 제시하였다. 통행 비용, 통행 시간, 도보 시간, 환승 횟수 등 대안 속성 변수들의 계수는 예상대로 음수로 나타났다. 또한 두 네스티드 모델이 추정한 대안속성변수의 계수값은 상당한 강건성을 보여주어 두 구조의 타당성을 방증한다. 뿐만 아니라 다른 속성 변수들의 영향을 제외한 후의 수단 선호를 보여주는 값인 수단 특성 상수의 값을 비교해보면 대중교통, 대중교통+공공자전거, 카풀, 대중교통+택시 순으로 사람들이 선호함을 알 수 있으며 이는 두 모형의 결과가 일치하였다. 추정된 통행시간가치는 17,000원 선, 도보시간가치는 약 24,000원선으로 추정되었다. 도보시간 가치 대비 총 통행시간 가치의 비율은 1.41로 Kim et al.(2017)의 연구에서 수도권 통근 통행의 차내 통행시간 가치와 차외 통행시간 가치의 비율이 1.52배로 나온 것과 유사하다. 수단 특성 상수를 살펴보면, 단일 대중교통 대안의 수단 특성 상수를 0으로 고정하여 나머지 대안들의 선호를 파악하는 기준점이 되도록 했다. 이에 따라 수단 상수 해석 시에는 양 또는 음의 수단상수가 절대적인 수단의 선호를 나타내는 것이 아니라 대중교통 대비의 선호 혹은 비선호를 나타낸다는 점을 주의해야한다. 개인의 사회경제적 특성과 직장 환경 변수는 각 네스티드 구조에 대한 선호를 파악하기위해 추정되었다. 개인 속성변수의 독립적인 영향을 모형화하기 위해 각 변수들은 이펙트 코딩 되었다. 일반적으로 많이 사용되는 터미 코딩이 0 또는 1의 값만 가질 수 있는 것에 비해 이펙트 코딩은 -1, 0, 1 값을 가질 수 있다. 이런 차이에 따라 터미 코딩시 수단 특성 상수는 모든 속성수준이 0의 값을 가질 때의 값을 드러낸다면, 이펙트 코딩시의 수단 특성 상수는 그 수단에 대한 평균적인 선호를 드러낸다.

개인의 사회경제변수와 직장 환경 변수의 경우 유의수준 0.1에서 통계적으로 유의한 변수만 포함시켰다. 네스티드 구조 1, 즉 MaaS 복합수단(택시+대중교통, 택시+공공자전거) 선호에 영향을 미치는 개인 속성 변수를 살펴보자. 수단 선호가 나이대의 증가에 따라 일정한 경향으로 증가하거나 감소하는 것이 아니라 나이대별로 이산적인 선호를 보임을 나타내었다. 우선 30대의 MaaS 복합수단 선호는 통계적으로 유의하지 않았다. 40대는 20대에 비해 두개의 MaaS 복합수단을 선호하지 않은 반면 50대는 20대에 비해 두개의 MaaS 복합수단을 선호하는 것으로 드러났다. 20대의 MaaS 복합수단 선호는 -0.06으로 MaaS 복합수단을 선호하는 순서대로 나열하면 50대, 20대, 40대 순이다. 50대는 젊은 연령층에 비해 신 기술에 대한 수용도가 낮아 MaaS가 제공하는 복합 수단에 대한 수용도도 낮을 것이라 생각할 수 있지만, 우리의 문제 상황과 같이 추천 경로 등의 충분한 통행 정보가 제공되고 간편 예약, 결제 등 편리한 사용자 경험을 제공한다면 열성적인 이용층이 될 수도 있다는 점을 시사한다. MaaS의 선행연구에서도 마찬가지로

지로 나이는 MaaS 선택에 통계적으로 유의한 영향을 준다는 사실을 드러낸 바 있다(Ho et al., 2018; Kamargianni et al., 2018).

Table 4. Results for two nested logit models

Nested logit model 1			Nested logit model 2		
Name	Value	t-test	Name	Value	t-test
Alternative attributes					
Travel cost (1,000₩)	-0.18***	-2.92	Travel cost (1,000₩)	-0.18***	-2.96
Travel time (hr)	-3.03***	-11.20	Travel time (hr)	-3.11***	-11.90
Walking time (hr)	-4.17***	-5.67	Walking time (hr)	-4.32***	-5.61
Transfer	-0.24***	-3.60	Transfer	-0.23***	-3.40
Alternative specific constant					
Private car	-0.41	-1.60	Private car	-0.37	-1.39
Carpool	-1.89***	-4.73	Carpool	-1.76***	-4.23
Pt+bike sharing	-1.15***	-8.25	Pt+bike sharing	-1.01***	-9.28
Pt+taxi	-1.92***	-6.17	Pt+taxi	-1.88***	-6.35
Inclusive value parameter					
μ_{MaaS}	1.48***	5.62	$\mu_{carbased}$	1.18***	11.60
θ_{MaaS}	0.68	-	$\theta_{carbased}$	0.85	-
Socio-economic variables					
Aged 20-29_MaaS	-0.06	-	Aged 20-29_carbased	0.58	-
Aged 30-39_MaaS	0.04	0.31	Aged 30-39_carbased	-0.41***	-4.07
Aged 40-49_MaaS	-0.24*	-1.83	Aged 40-49_carbased	0.24**	2.45
Aged 50-59_MaaS	0.26**	2.21	Aged 50-59_carbased	-0.41***	-4.04
Low education level_MaaS	-0.29	-	Low income level_carbased	0.12	-
High education level_MaaS	0.29**	2.54	Low income level_carbased	-0.12**	-2.05
			Male_carbased	-0.19	-
			Female_carbased	0.19***	2.96
			Flexible dress code_carbased	-0.13	-
			Strict dress code_carbased	0.13**	2.12
Value of time (₩/hr)					
Value of time	17,314		Value of time	17,374	
Value of walking time	23,829		Value of walking time	24,134	
Model fit statistics					
Sample size	1,556		Sample size	1,556	
Rho-square	0.303		Rho-square	0.316	
Adjusted rho-square	0.297		Adjusted rho-square	0.31	
AIC	3,263.708		AIC	3,205.581	

note: (1) High education level: graduate or higher; low education level: high school.

(2) High income level: household income more than and equal to ₩5,000,000/month, low income level: household income less than ₩5,000,000/month.

(3) PT: public transportation.

(4) AIC: Akaike Information Criterion.

(5) ***: 1% confidence level, **: 5% confidence level, *: 10% confidence level.

또한 최종 학력이 대학교 졸업 이상인 경우 최종 학력이 고등학교인 집단에 비해 MaaS 복합 수단을 선호하는 것으로 드러났다. 이는 선행 연구의 결과에서 대학 재학 이상의 경우 고등학교 졸업 이하의 학력을 지닌 사람들보다 실시간 대중교통정보 서비스를 제공했을 때 대중교통 전환 비중이 높은 것과 연관지어볼 수 있다(Lee et al., 2017). 요약하면 특히 50대의 사람들, 그리고 보다 높은 교육수준을 지닌 사람들에게 MaaS 복합수단이 선호될 것임을 본 모델은 시사한다.

다음으로 네스티드 구조 2, 차량기반 교통수단(승용차, 카풀, 대중교통+택시) 선호에 영향을 미치는 개인 속성 변수의 추정 결과를 살펴보면 나이가 가장 중요한 변수였다. 추정된 계수값의 절대값을 비교해보면 나이대에 따른 수

단 선호의 이질성이 다른 어떤 개인속성변수보다 크다는 사실을 알 수 있다. 나이에 따른 영향을 보다 자세히 살펴보면, 30대는 20대에 비해 차량 기반 교통수단을 선호하지 않았다. 40대는 20대에 비해 차량 기반 교통수단을 선호했다. 50대에 이르면 다시 20대에 비해 차량 기반 교통수단을 선호하지 않는 양상을 보였다. 20대의 차량 기반 교통수단 선호 계수를 계산하면 0.58로 차량 기반 교통수단을 선호하는 순서대로 나열하면 20대, 40대, 그리고 3, 50대이다. 가구 월평균 소득이 500만원 이하인 사람들의 경우 500만원 이하인 사람들에 비해 차량기반 교통수단을 선호하지 않았다. 이는 제시된 통행요금 외에 보험료, 수리비 등의 차량 유지 금액의 부담 때문일 수 있다. 여성의 경우 남성에 비해 차량 기반 교통수단을 선호하는 것으로 나타났다. 직장 내 복장 규정이 비즈니스 캐주얼 혹은 정장을 입어야 하는 사람들의 경우 자유복장을 허락하는 회사에 비해 차량 기반 교통수단을 더 선호했다. 직장 내 복장 규정은 직업군 및 근무 행태에 따라 달라지며 직장 내 전반적인 분위기와도 밀접한 연관이 있다. 이는 아마도 비교적 자유로운 직업군에 속한 사람들이 차량 기반 교통수단에서 대중교통 중심 교통수단으로 전환될 가능성이 더 높기 때문일 것이다. 정리하면 30, 50대 사람들, 가구 월평균 소득이 500만원 이하인 사람들, 남성들, 직장 내 복장 규정이 자유로운 사람들에게 그들의 상대 집단보다 지속가능한 교통수단인 대중교통, 대중교통+공공자전거 대안이 어필 될 수 있을 것이다.

두 가지 구조의 네스티드 구조가 주는 시사점을 해석할 때 주의해야 할 점이 있다. 본 모델은 사회경제적 특성에 따라 달라지는 각 네스트 구조의 선호도만을 알 수 있지, 사회경제적 특성에 따라 달라지는 수단 선호는 알 수 없다는 점이다. 구체적으로 살펴보면, 네스티드 구조 1과 네스티드 구조 2 모두에 포함되어 있는 택시+대중교통 수단을 어떤 집단이 선호할지를 제시된 모델들만으로 판단하려고 하면 혼란이 생긴다. 예를 들어 모형 1의 결과에서는 대중교통+택시 대안이 속해있는 마스 복합수단 네스티드가 20대보다 50대에서 더 선호되지만, 모형 2의 결과에서는 대중교통+택시 대안이 속해있는 차량 기반 네스티드가 50대보다 20대에서 더 선호되기 때문이다. 20대와 50대가 대중교통+택시 대안에 대해 가지는 실제 선호도는 상반된 두 선호가 상쇄된 값일 것이다. 본 연구는 사회 경제적 변수에 따라 달라지는 네스티드 선호에 차이에 집중하고 있기 때문에 이를 알아내는 것은 연구의 범위 밖이며 후속 연구로 제안하고자 한다.

결론

본 연구에서는 서울시 실정에 맞게 통근통행으로 이용 될 가장 유력한 수단 및 수단 조합을 총 5가지 선정하여 SP 조사를 수행하였다. 수단 조합의 선택 문제에서 근본적으로 발생할 수밖에 없는 대안 간 독립성 문제를 완화하고 통근자들의 5가지 대안 중 어떤 대안들을 비슷한 대안으로 인식하는지를 알기 위해 두 가지 구조의 네스티드 모델이 추정되었다. 나아가 이용자의 개인 특성에 따라 특정 네스티드 선호가 어떻게 달라지는지를 살펴보았다. 주요한 발견점을 요약하면 MaaS 수단 선호에 가장 큰 영향을 주는 변수는 나이였다. 특히, 수단 선호가 나이에 따라 증가하는 경향으로 증가하거나 감소하는 것이 아니라 나이에별로 이산적인 선호를 보임을 나타내었다. 첫 번째 네스티드 모형은 사람들이 대중교통+택시, 대중교통+공공자전거 대안을 유사한 수단으로 인식한다는 가정을 바탕으로 하며, 그러한 가정이 통계적으로 유의함을 밝혔다. 또한, 50대의 사람들, 그리고 보다 높은 교육수준을 지닌 사람들이 그들의 상대 집단보다 MaaS 복합수단을 선호함을 밝혔다. 두 번째 네스티드 모형은 사람들이 경로에 차량이동이 포함된 승용차, 카풀, 대중교통+택시 대안을 유사한 수단으로 인식한다는 가정을 바탕으로 하며, 역시나 그러한 가정이 통계적으로 유의함을 밝혔다. 또한, 30, 50대 사람들, 가구 월평균 소득이 500만원 이하인 사람들, 남성들, 직장 내 복장 규정이 자유로운 사람들이 그들의 상대 집단보다 지속가능한 교통수단인 대중교통, 대중교통+공공자전거 대안을 선호함을 밝혔다.

이러한 분석결과를 바탕으로 MaaS의 성공적 국내 도입을 위한 맞춤형 홍보 전략을 생각해볼 수 있다. 우선 특정 사용자 집단에게 어필할 수 있는 수단을 집중적으로 홍보함으로써 MaaS의 보급률을 극대화하는 방안을 생각해볼 수 있다. 예를 들어, MaaS 제공 복합수단을 다른 나이에 비해 더 선호하고 차량기반 교통수단은 다른 나이에 비해

덜 선호하는 50대에게 친환경적 교통수단인 대중교통+자전거 수단을 적극적으로 홍보하는 것은 전 연령층을 대상으로 홍보하는 것 보다 효율적일 것이다. 비슷한 예시로는 각 성별 집단에게 선호되는 MaaS 복합 수단을 추천해주는 방안, 즉 여성에게는 대중교통+택시 대안을, 남성에게는 대중교통+자전거 대안을 적극적으로 홍보하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 또한, 본 모델은 이용자 맞춤형 수단 조합 추천 모델의 근간이 될 수 있다. 추정된 모델은 사용자의 개인특성 변수를 고려하여 사용자의 효용 함수 초기값을 설정하는데에 활용될 수 있다. 수단 조합에 대한 사용자 선호의 명확한 이해는 3단계 월정액 패키지를 구성하는 것에도 도움을 줄 수 있다. 개별 사용자가 선호하는 하루 내 통행의 복합 수단이 무엇인지 파악하면, 그에 적합한 월정액 패키지를 구성할 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라 수단 상수로 파악한 대안 선호도 비교는 서울시 통근 통행을 위한 MaaS 서비스가 어떻게 자리잡을 수 있을지에 대한 방향성을 제시한다. 마지막으로, 친환경적인 교통수단으로 구성된 대중교통+공공자전거 대안을 사람들이 대중교통 다음으로 가장 선호한다는 본 연구의 결과는 이러한 수단 조합이 충분히 많은 사람들에게 선호되는 MaaS 대안으로서 자리매김 할 것이라는 점을 시사한다. 서울시 공공자전거 따릉이와 대중교통을 연계한 경로 정보를 제공하고 환승 할인 등의 정책을 활성화한다면 보다 많은 사람들이 지속가능하면서도 편리한 교통 대안을 선택하도록 유도할 수 있을 것이다.

향후 연구과제로는 설문조사 기법의 한계를 극복하기 위한 연구와 본 연구에서 추정된 모델의 한계를 극복하기 위한 방법 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 설문조사로 인한 인지 오류를 최소화하기 위해 설문조사 방식을 고도화하는 방향을 생각해볼 수 있다. 본 연구의 설문 설계는 대표적인 출근 시나리오를 선정하고 사전 설정된 수단 속성 중 하나가 제시되는 형식으로 구성되었지만, 응답자가 직접 출퇴근 목적지를 입력하고 실제로 가능한 선택 가능 집합을 제시받는 온라인 설문을 설계해볼 수 있다. 이것이 진행되려면 실시간 API 데이터를 이용해 대안별 최적 경로를 구해낼 수 있어야 하며 다양한 수단이 조합된 상황에서의 최적 경로를 산출하는 알고리즘이 추가로 개발되어야 가능하다. 설문조사 데이터를 실제 데이터로 보정하기 위해서는 MaaS 시스템이 실제로 도입된 이후 수집된 통행 데이터를 이용해서 본 연구에서 구축된 모형을 고도화해가는 후속 연구를 진행해볼 수도 있다. 결론부에서 서술했듯 본 연구가 제시한 모형으로는 사회경제적 변수에 따라 달라지는 각각의 네스티드에 대한 선호도만을 볼 수 있고 사회경제적 변수에 따라 달라지는 수단 선호도는 파악할 수 없다. 이를 위해서는 복잡한 상관관계를 맺고 있는 대안들의 네스티드 구조를 한번에 모델링할 수 있는 교차 네스티드 구조의 검토가 필요할 것이다.

Funding

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (2020R1F1A1074395).

알림

본 논문은 대한교통학회 제81회 학술발표회(2019.09.27)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

KIM, Youngseo <http://orcid.org/0000-0003-4883-0903>

KIM, Eui-Jin <http://orcid.org/0000-0003-1057-2806>

KIM, Dong-Kyu <http://orcid.org/0000-0003-0746-3043>

References

- Alonso-González M. J., van Oort N., Oded C., Hoogendoorn S. (2017). Urban Demand Responsive Transport in the Mobility as a Service ecosystem: its role and potential market share.
- Ben-Akiva M. E., Lerman S. R., Lerman S. R. (1985), Discrete choice analysis: theory and application to travel demand (Vol. 9). MIT press.
- Durand A., Harms L., Hoogendoorn-Lanser S., Zijlstra T. (2018), Mobility-as-a-Service and changes in travel preferences and travel behaviour: a literature review, KiM Netherlands Institute for Transport Policy Analysis.
- Han J. Y. (2019), Study on Mode Choice Modeling for Mobility as a Service (MaaS): Stated Preference Survey, Master's thesis in Hongik University.
- Hensher D. A., Greene W. H. (2002), Specification and estimation of the nested logit model: alternative normalisations, *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(1), 1-17.
- Hensher D. A. (2010), Hypothetical bias, choice experiments and willingness to pay, *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(6), 735-752.
- Ho C. Q., Hensher D. A., Mulley C., Wong Y. Z. (2018), Potential uptake and willingness-to-pay for Mobility as a Service (MaaS): A stated choice study, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 117: 302-318.
- Jittrapirom P., Marchau V., Heijden R., Meurs H. (2018), Dynamic adaptive policymaking for implementing Mobility-as-a-Service (MaaS), *Research in Transportation Business & Management*, 27: 46-55.
- Kamargianni M., Matyas M., Li W., Muscat J. (2018), Londoners' attitudes towards car-ownership and Mobility-as-a-Service: Impact assessment and opportunities that lie ahead, MaaS Lab.
- Kakao Report (2018), <https://brunch.co.kr/@kakaomobility/19>, Accessed Nov. 29, 2019.
- Kim K. H., Lee J. H., Yun I. (2017). Calculation of Travel Time Values in Seoul Metropolitan Area Considering Unique Travel Patterns, *Journal of Korean Society of Transportation*, 35(6).
- Lee E. H., Lee H., Kho S. Y., Kim D. K. (2019a). Evaluation of Transfer Efficiency between Bus and Subway based on Data Envelopment Analysis using Smart Card Data, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(2), 788-799.
- Lee H. C., Yun D. S., Kim S. H., Choi H. G. (2017). Analyzing Service Preferences of Intelligent Transportation Systems and Effects of Mass Transportation Information Service by Individual Characteristics, *Korea Association of Regional Studies*, 25(2), 23-40.
- Lee J. Y., Im I. J., Song J. I., Hwang K. Y. (2019b) Determining Fare Discount Level for MaaS Implementation - Based on Time and Cost Changes, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*.
- Lyons G., Hammond P., Mackay K. (2019). The importance of user perspective in the evolution of MaaS, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 22-36.
- Matyas M., Kamargianni M. (2018), The potential of Mobility as a Service: Bundles as a mobility management tool, *Transportation*.
- McFadden D. (1976), The Theory and Practice of Disaggregate Demand Forecasting for Various Modes of Urban Transportation, University of California Berkeley, Institute of Transportation Studies, Working Paper No.7623.
- Miramontes M., Pfertner M., Rayaprolu H. S., Schreiner M., Wulfhorst G. (2017), Impacts of a multimodal mobility service on travel behavior and preferences: User insights from Munich's first Mobility station, *Transportation*, 44:

1325-1342.

- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2019), Available at: http://www.molit.go.kr/srocm/USR/N0201/m_13551/dtl.jsp?lcmepage=1&id=95083138.
- Mulley C. (2017), Mobility as a Services (MaaS)-does it have critical mass?, <https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1280932>.
- Passenger Transport Service Act 81 (2019), <https://glaw.scourt.go.kr/wsjo/lawod/sjo192.do?contId=2227364&jomunNo=81&jomunGajiNo=0>, Accessed Nov. 29. 2019.
- Price of Travel (2017), <https://www.priceoftravel.com/555/world-taxi-prices-what-a-3-kilometer-ride-costs-in-72-big-cities/>, Accessed Nov. 29. 2019.
- Ratilainen H. (2017), Mobility-as-a-Service: Exploring consumer preferences for MaaS subscription packages using a stated choice experiment, Master's thesis in Delft University of Technology.
- Rose J. M., Bliemer M. (2009), Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs, *Transport Reviews*, 29: 597-617.
- Seoul Survey (2017), http://www.gangnam.go.kr/board/B_000643/1058686/view.do?mid=FM01020903.
- Smile Mobility (2015), Results of the smile pilot, Retrieved from http://smile-einfachmobil.at/index_mobile_en.html Accessed on March 3th, 2020.
- Sochor J., Karlsson I. M., Strömberg H.(2016), Trying out mobility as a service: Experiences from a field trial and implications for understanding demand, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2542: 57-64.
- Strömberg H., Rexfelt O., Karlsson I. M., Sochor J. (2016), Trying on change-Trialability as a change moderator for sustainable travel behaviour, *Travel Behaviour and Society*, 4, 60-68.
- The Seoul Institute (2018), Introduction of MaaS (Mobility as a Service) Seoul.
- Yoon Y. K. (2019), A Study on inter-model connection and assignment analysis using Mobility as a Service (MaaS), Master's thesis in Kongju National University.