한국ITS학회논문지 J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.

MasS(Mobility as a Service)의 적정요금할인 수준 분석

- 통행시간 및 비용변화를 중심으로 -

Determining Fare Discount Level for MaaS Implementation

- Based on Time and Cost Changes -

이 자 영* · 임 이 정** · 송 재 인*** · 황 기 연****

* 주저자 : LG CNS 엔트루컨설팅 스마트엔지니어링 그룹
** 공저자 : 홍익대학교 도시계획과 박사수료
*** 공저자 : 스마트인디비쥬얼스 대표
**** 교신저자 : 홍익대학교 도시공학과 교수

Ja Young Lee* · I Jeong Im** · Jae in song*** · Kee Yeon Hwang****

* LG CNS Co., Ltd. (Entrue Consulting)
** Department of Urban Planning, Hongik University
*** SmartIndividuals Pte.
**** Department of Urban Planning, Hongik University
† Corresponding author : Kee Yeon Hwang, keith@hongik.ac.kr

Vol.18 No.1(2019)
Feburary, 2019
pp.1~13

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.1.1

Received 2 January 2019
Revised 24 January 2019
Accepted 25 January 2019

요 약

대도시화 및 자동차의 급격한 증가에 따라 발생하는 교통문제를 해결하기 위한 대안으로 Mobility as a Service(이하 Maas)의 개념이 도입되고 있으며, 유럽을 중심으로 관련한 연구와 파일럿 프로그램 등이 추진 및 운영되고 있다. 그러나 국내의 경우 MaaS의 개념 및 도입에 대한 정성적 연구가 주로 수행되고 있으나 도입을 위한 실증적 분석연구는 미흡한 실정이다. MaaS는 다양한 교통정보를 활용해 개인별로 최적화된 이동계획을 제공하여 교통수단의 대기시간을 줄이고 이용수요를 증가시키며 요금을 일정 수준 할인해도 수입을 줄지 않는다는 특징이 있다. 본 연구의 목적은 수도권에서 MaaS의 도입으로 이동수단의 통행시간 및 비용이 변하면 이용수요 및 수입금에 미치는 영향을 분석하고, 더 나아가 도입 타당성을 확보하기 위한 적정 요금 할인율 수준을 도출하는데 있다. 분석을 위해 KTDB의 전국 여객 기종점 통행실태조사 전수화 자료를 활용하였고, 점진적 로짓모형을 활용해 MaaS 시행 전후 수담분담률 및 수입금을 산출하였으며 최적화를 통해 적정 할인율을 산정하였다. 분석결과, 통행비용 및 통행시간 감소 시 각각 비승용차 수단으로 전환수요가 발생하는 것으로 분석되었으며, 통행비용에 비해 통행시간 감소에 따른 이용수요 증진효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 통행시간 감축으로 인한 수입금 증가로 인해 손실이 발생하지 않는 최적 요금할인율 수준이 2.56%로 도출되었다. MaaS는 개인화된 교통정보를 활용하여 통행시간 감소 및 수요 증진 등 긍정적인 효과를 보이며, 현 정책 대비 대중교통 수요증진 측면에서 보다 높은 경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : Mobility as a Service, 수요영향, 상업적 타당성, 최적요금할인률

ABSTRACT

With commercial apps popular in EU, MaaS has been emerging around the globe as a new approach to worsening urban traffic problems. In contrast, it is still mainstay in Korea simply discussing the concept and necessities of MaaS, rather than seeking for real-world solutions for the

commercialization. The purpose of this research is to analyze the demand-side i1mpacts of travel time and cost changes according to MaaS adoption, and to see its commercial feasibility in Korea. The 2010 KTDB traveler's nationwide OD data is used to estimate the level of fare discount for balancing the mode shift and fare revenue changes followed by MaaS implementation.

The analysis results show that MaaS leads to the increase of public transport ridership as a result of the diminishing travel cost and time, and that the time saving works more positively for ridership increase. Also, the optimum level of fare discount is estimated 2.56% without damaging the revenue. This finding reveals that MaaS impact is superior to the other single-sided public transport inventive measures since it can affect both travel cost and time reduction at the same time.

ⓒ 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

Key words : Mobility as a Service, Demand-side impact, Commercial feasibility, Optimum fare discount rate

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

2018년도 세계 도시화 전망 보고서에 따르면 전 세계적으로 많은 인구가 도시로 몰리면서 현재 도시화 비율인 55%에 비해 2050년까지 25억명이 도시로 몰리면서 도시화 비율이 68% 수준까지 증가할 것이라고 전망하고 있다.(UN DESA, 2018) 이러한 급격한 도시화는 인구과밀화 문제 이외에도 교통 혼잡, 환경오염 등 다양한 문제를 발생시킬 것으로 예상된다. 이에 주택·교통·에너지 등 도시 인프라의 지속가능한 개발과 관리의 중요성이 높아지고 있는 추세이다.

교통 분야에서는 교통문제를 해결하기 위한 대안으로 새로운 교통수단 및 교통서비스가 등장하고 있으며, 서비스의 분야인 Mobility-as-a-Service(이하, MaaS)에 대한 관심이 증가하고 있다. MaaS란 ICT기술을 교통에 접목하여 대중교통을 비롯한 모든 교통수단을 하나의 플랫폼을 통해 제공하는 서비스를 의미한다. 기존 모바일 기반 대중교통 정보시스템의 경우 승용차, 대중교통(지하철 및 버스), 도보, 자전거로 정보를 제공하는 수단이 한정적이며 각각 별도의 경로를 제공하고 있기 때문에 다수단 통합 경로를 제공하지 못하는 한계가 있다. 이에 반해 MaaS는 최근 젊은 층에서 유행하는 전동킥보드와 같은 퍼스널 모빌리티(Personal Mobility)나 공유교통수단 (Shared Transportation)을 포함하고 있으며 다 수단을 연계하여 통합적으로 정보를 제공한다는 장점을 갖고 있다.

MaaS의 개념은 스웨덴에서 처음 출현하였으며, 이후 Sonja Heikkila 석사 논문을 통해 MaaS에 대한 아이디어가 전 세계적으로 확산되었다. 이에 MaaS 도입을 위한 사회적 편익분석, 비즈니스 모델, 알고리즘 개발 등 다양한 분야의 연구가 진행 중이며, 핀란드, 오스트리아, 싱가폴, 미국 등 공공-민간 협업을 통해 MaaS 상용화를 위한 다양한 연구 및 기술개발과 파일럿 프로그램들이 선행되고 있다.

국내의 경우 국외와 마찬가지로 도시화가 지속적으로 진행되고 있으며 이에 따라 각종 교통문제들이 발생하고 있다. 특히, 수도권의 경우 대중교통 수담분담률을 높이기 위한 다양한 정책들이 도입되고 있음에도 여전히 교통 혼잡은 난제로 남아있다. MaaS의 국내도입은 이러한 문제를 해결할 수 있는 하나의 방안으로 논의되고 있으며 관련 연구가 진행되고 있다. 그러나, 현재까지 MaaS에 대한 연구는 해외사례 분석, 개념정립 등 초기 단계 연구가 주를 이루고 있는 실정이며 실행을 전제로 한 정량적인 기대효과 분석 연구들은 미흡한 상태이다.

한편, MaaS를 운영하기 위해서는 나라마다 사정은 다르겠지만 대중교통수단 통합과 요금할인이 전제가

되어야하며 이는 복수 운영자들 사이에 상대적 부담을 줄이기 위한 경쟁을 유발시킬 수 있다(Kamargianni et al. (2015)). MaaS가 활발한 핀란드와 같은 나라의 경우 대중교통 분담률이 우리에 비해 낮고 대중교통 요금도 다소 높기 때문에 요금할인을 통해 큰 수입의 손실 없이 대중교통 이용수요의 증대가 용이하다. 그러나 우리의 경우 요금수준이 낮아 대다수의 지자체에서 대중교통 운영 적자를 보조금을 통해 보전해주고 있기 때문에 추가적인 요금할인을 위해서는 대중교통 운영기관이나 MaaS 사업자에게 추가적 부담이 발생한다. 특히 이미 경영이 어려운 대중교통 운영기관들 간 요금 인하를 합의하기란 쉽지 않다. 이러한 금전적 부담을 줄이기 위해서는 MaaS 사업자가 다양한 프로그램을 통해 추가 수요를 창출하고 부대사업과 연계한 수익의 극대화가 필요하다. 통행수요를 확대할 수 있는 방안은 앞서 기술한 바와 같이 적정 수준의 요금할인을 통해 수요가 증가하여 할인에 따른 재정 부담을 상쇄시키고, 이용자 맞춤 서비스나 교통정보제공을 통한 이용자들의 통행시간 감소를 들 수 있다.

본 연구의 목적은 수도권에서 MaaS의 도입으로 이동수단의 통행시간 및 비용이 변하면 이용수요 및 수입금에 어떻게 영향을 주는 지 분석하고, 더 나아가 도입 타당성을 확보하기 위한 적정 요금 할인율 수준을 도출하는데 있다.

Ⅱ. 선행 연구

MaaS의 대한 연구는 Sonja Heikkila(2014)의 논문을 시작으로 국외에서 활발하게 이루어지고 있으며, 국내에서는 아직 관련 연구가 미비한 실정이다. 이에 MaaS에 대한 이해를 높이고자 MaaS와 관련한 다양한 분야의 선행연구를 검토하였다. 국외의 선행연구를 살펴보면 Mourey et al. (2017)는 도시 이동성의 통합을 위해 공유교통과 대중교통을 기술적으로 연계한 복합교통서비스(Multi-modoal Service)의 필요성을 주장하였다. 다양한 이동수단을 하나로 묶는 서비스로 복합교통서비스를 정의하였으며, 이를 도입하기 위해 단일 플랫폼 개발의 필요성을 주장하였다.

Finger(2015)는 MaaS 도입 시 발생 가능한 정보보안 및 책임이 필요하다고 언급하였다. 이를 위해 정부와 공공기관의 정책적 지원과 관심으로 미래지향적 비전 개발 필요성을 주장하였다.

Kamargianni et al. (2015)은 MaaS를 도입하는 과정에서 운수업체와의 협력에 대한 불확실성이 존재함을 언급하였으며, 다수의 이해관계자 간의 요금 조정 및 수익 분배에 대한 어려움이 발생할 것으로 예상하였다.

CATAPULT(2015)는 MaaS 에코시스템(Eco-system, 생태계) 프레임워크에 대해 연구하였다. MaaS의 이해관계자를 이용자, MaaS 사업자, 데이터 제공자, 운수업체로 구분하고 MaaS에서 창출되는 빅데이터를 처리할 수 있는 데이터 접근방법, 데이터 처리 및 기술 등의 확보 필요성을 제기하였다.

Kerttu(2017)는 MaaS 생태계에 있는 3가지 운영자의 역할을 이동성 제공업체(이동수단을 제공하는 회사), 플랫폼 제공업체(데이터, 예약·지불 서비스 등 IT 플랫폼 제공), 서비스 제공업체(고객서비스, 마케팅, 모빌리티 패키지 판매)로 정의하였다.

Li and Voege (2017)는 각 이해관계자의 입장에서 MaaS를 통해 얻을 수 있는 혜택에 대해 기술하였다. 이용자는 현재 대비 저렴한 교통비용과 시간이 단축된 이동이 가능할 것이라고 주장하였다. 또한 MaaS 제공업체는 운수업체와의 협약을 통해 저렴하게 이동서비스를 구매하고 이용자에게 재판매함으로써 수익을 얻을 수 있으며 운수업체는 MaaS로 이용자 확보 및 시장점유율을 높일 수 있을 것이라고 언급하였다.

MaaS Global(2017)은 대표적인 MaaS 파일럿 운영사로 MaaS API 프로젝트를 진행하였다. MaaS API는 MaaS 어플리케이션 서비스 구현을 위해 필요한 기능을 호출할 수 있도록 인터페이스 규약을 정의하고 다양

한 어플리케이션 개발이 가능하도록 오픈소스를 활용하여 방대한 양의 데이터의 수집 및 통합허브로 관리하여 데이터 공유가 가능한 환경을 조성하고자 하였다.

OECD ITF(2017)는 MaaS가 공유교통 및 대중교통 연계를 통해 완벽한 Door-to-Door(이하 D2D)서비스를 제공하였을 때, 그 효과에 대해 분석하였다. 그 결과 대중교통 이용객이 23% 증가하고 교통 혼잡이 37% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 이용자의 대기시간이 84~88%, 차내시간이 2% 감소한다고 분석하였다.

Li and Voege (2017)는 MaaS가 공유교통 및 대중교통을 연계하여 이동성을 증진시키고, 환경과 에너지 소비 감소효과가 있음을 언급하였다. 또한 MaaS를 통해 신규 일자리 창출이 가능하여 지역경제 발전에 도움이 될 것이라고 주장하였다. 그러나 현재까지 MaaS를 테스트 하는 도시에서 이해관계자 간의 협약 지연에 따라 다양한 수단 접목이 어려운 문제점을 제기하였다. 따라서 정부와 지자체의 지원으로 이해관계자 간의 협력체계를 구축하여 MaaS 구현이 가능한 환경을 조성해야 한다고 강조하였다. 위에서 살펴본 국외 MaaS 연구를 다음 <Table 1>과 같이 분야별로 정리할 수 있다.

<Table 1> Trends in international MaaS research

Classification	Description
Impacts	• Contribute to Share Transportation Activation of New Mobility Service • Quality improvement of Transportation Service & To be high-class, diversified Service • Offer effective service through optimized service management based on demands • Decrease in car usage & The resulting Social cost reductions • Possibility investment of Effective transportation infra through practical data analysis • Shift from provider to user of Demand-reponsive service • Reduction of User Travel time, Travel cost • Activation of various private companies & Increase user demand
Technical Factor	• Inter-Modal Technology • Integrated Solution of payment·Ticketing • Information&Communication Technology • Cloud Technology • BigData Integration&Analysis Technology • Implementation of complex transportation system Technology
Risk of MaaS	• Existing transportation companies rebound and revenue decline • Possible data leakage and personal information threats • Complex settlement and profit distribution among stakeholders
Policy Support	• Prepare legal measures to supplement personal information • Establish a system to avoid conflicts between existing operators • Improve institutional structure to provide customized integrated services • Improve institutional and infrastructure to provide transportation services that users need in the blind spots of temporal and spatial transportation

국내 MaaS와 관련한 선행연구는 주로 MaaS의 정의와 해외사례를 소개하고 도입의 필요성을 언급하고 있다. Seo & Hwang(2016)은 차량 소유에 대한 인식의 변화로 인해 공유교통 및 대중교통 수단의 중요성을 언급하였고, 다양한 교통수단 간 통합과 함께 차세대 교통 서비스 요금 약정 관리 시스템인 MaaS를 통해 서울시의 기존 승용차 통행수요를 흡수하고 공유교통과 대중교통 환승체계 구축을 통해 대중교통 서비스의 보완 필요성을 주장하였다.

Kwon(2016)은 자동차의 소유보다는 공유 및 대중교통 이용에 대한 선호도 증가와 더불어 ICT 기술과 접목시킨 새로운 교통 서비스인 MaaS의 중요성에 대해 언급하며, 신 교통 서비스와 기존 서비스 사업자 간의

충돌을 피하여 교통 운영의 혁신을 위한 제도 개선 방향을 제시하였다.

Im(2016)은 MaaS의 도입을 통해 다양한 교통수단의 활용을 높이며 이를 통해 편리성과 효율성을 높일 수 있다고 주장하고, MaaS 국내 도입을 위해 향후 수단 공급자와 MaaS 제공자 간의 사전적 협의가 필요하다고 주장하였다. Jang(2017)은 MaaS의 개념 정리와 더불어 다양한 이용자가 하나의 플랫폼으로 정보를 집중하기 때문에 MaaS의 도입을 위해 상위단계에서의 개념설정과 법체계 정비를 통해 기반 마련의 필요성을 강조하였다.

국내외 선행연구를 고찰한 결과, 국외의 초기연구는 MaaS 관련 연구들은 MaaS의 개념과 도입의 잠재적 효과 제시를 통해 MaaS의 필요성을 강조하고 있다. 또한 사회적 편익, 비즈니스 모델의 제시와 같은 경영·경제학적 연구와 기술적인 알고리즘에 대한 공학적 연구, 지속가능한 교통 서비스로서의 MaaS 구현과 같은 정책적 연구 등으로 연구 범위가 확대되었다. 그러나 앞선 국외 선행연구의 결과는 MaaS의 실질적인 국내도입을 위한 방안 연구로서 부족하다고 사료되며, 국내 연구의 경우 아직까지 국외 초기 선행연구와 유사한 수준이기 때문에 보다 심도 있는 연구가 수행될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 수도권을 중심으로 MaaS 도입 시 통행수단 별로 통행시간 및 비용의 변화에 따른 기대효과를 분석하고자 하며, 국내 MaaS 실현을 위한 최적할인율을 도출한다는 점에서 선행연구와의 차별성이 있다.

Ⅲ. 분석방법론

본 장에서는 MaaS 도입을 통한 기대효과 중 통행비용과 통행시간 변화를 통한 수요 및 운수업체의 수입금 변화에 대해 추정하고자 한다. MaaS는 다양한 교통정보를 활용한 개인별로 최적화된 이동계획을 제공하기 때문에 차외시간 특히 대기시간을 줄여서 총통행시간을 줄일 수 있고, 이로 인한 MaaS가 교통수단에 대한 이용증가로 요금을 할인해도 수지가 악화되는 일이 없게 된다. 분석의 개요, 전제 조건을 소개하면 아래와 같다.

1. 분석의 개요 및 전제 조건

MaaS 도입에 따라 예상되는 효과를 요약하면 <Table 2>와 같다. 승용차 이용률, 운수업체의 수입, 대중교통 이용수요 등이 MaaS 도입으로 인해 영향을 받을 것으로 판단하였다.

<Table 2> Expected Impacts

Classification	Description
Demand change & Modal split Ratio	• Possibility of demand changes due to reduction of travel cost and travel time • Creating new demand for public transportation • Reduction of private vehicle's modal share
Profitability	• Minimizing the cost levied on transportation operators • Need to prepare measures against decline in revenue

본 논문에서는 MaaS 도입으로 변화되는 통행비용과 통행시간에 의해 영향을 받게 될 승용차, 택시, 대중교통(버스, 지하철) 등의 수단 분담률을 전후 비교 분석하고, 그 결과에 기반하여 승용차 수단 분담률 감소를 유도하고 기타 수단을 운영하는 운수업체의 수익이 창출 가능한 최적 요금할인율 대안을 선정하고자 한다.

분석을 위해 한국교통DB센터(이하 KTDB)에서 제공하는 2010년 전국여객 기종점통행실태조사 전수화 자

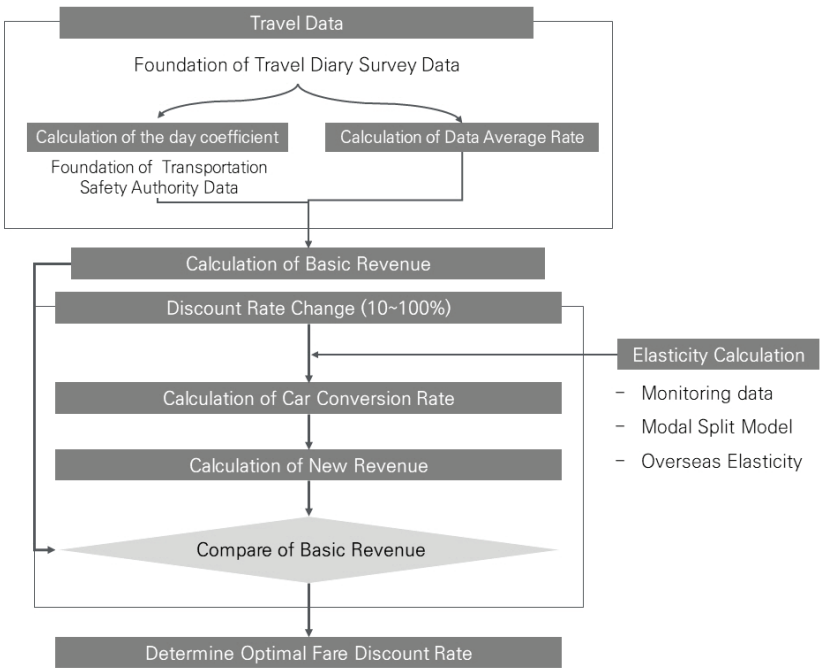
료와 수단분담모형 계수를 활용하며, 공간적 범위는 수도권(서울, 인천, 경기 총 1,107개존)을 기반으로 하고 지역 내 존 간 통행을 대상으로 하였다. 수단의 경우 총 12개 수단 중 승용차(자가운전/타인운전), 승용차 외 교통수단(버스/지하철/버스+지하철/택시)에 대해 수단분담계수에 필요한 변수를 정리하였다.

분석을 위한 세 가지 전제를 설정하였다. 첫째, 수요전환은 전환수요에 대해서만 고려하였다. 교통수요 예측 시 장래 교통체계에서 발생 가능한 수요는 전환수요와 유발수요로 나눌 수 있지만 유발수요에 대한 정의는 관점에 따라 매우 상이하기 때문에 본 논문에서는 KTDB에서 제공하는 수단분담모형을 통해 전환수요 변화만 살펴보고자 한다.

둘째, 수입금 비교 시 부가적인 수익 및 비용은 현재 상태로는 적절한 활용 자료가 부족하여 제외하였다. 분석에서 제외된 부가비용은 초기 MaaS 플랫폼 구축비, 카드수수료, 개발인건비 등을 의미하며, 부가수익은 향후 발생 가능한 데이터 수익, 광고수익 등이다.

셋째, 월 요금 산정 시 평일에 한정하여 분석하였다. 주말의 경우 평일에 비해 대중교통의 통행변화가 크기 때문에 제외하였다. 넷째 대중교통수단(버스, 지하철)의 월 수입금을 구하는 기준은 '일일 통행량×수단별 평균 요금×20(일)'로 하였다. 이는 본 연구에서 활용한 주 수단 여객 목적별 통행 전수화 자료가 주말이 제외된 평일기준으로 작성되었기 때문이다. 마지막으로 적정할인율 도출을 위해 운수업체에서 이용 수요 증가로 인한 수입 증가 분 만큼 할인을 제공한다고 가정하였다.

분석의 과정은 다음 그림 1과 같다. 우선 SQL을 이용하여 주 수단 여객 목적통행별 전수화 자료를 기반으로 기본 수단 분담률과 평균 통행비용을 산출하여 MaaS 도입에 따른 변동 치와 비교하기 위한 기본 안으로 정하였다. 두 번째로 수단분담모형 및 점진적 로짓모델을 통해 통행비용과 통행시간 변화에 따른 수단분담률과 수입금을 추정하고 그 결과를 기본안과 비교하였다. 마지막으로 최적 할인율을 산정하기 위한 최적화를 수행하였다. 이를 통해 손실이 발생하지 않는 범주 내에서 이용수요의 최대치를 갖는 적정 할인율을 산정하였다.



<Fig. 1> Analysis process

2. 효과분석을 위한 시뮬레이션 방법론

앞서 살펴본 바와 같이 MaaS를 통해 수단의 통행시간 절약과 비용할인이 가능하게 된다면 승용차의 수단분담률은 감소하고 MaaS 이용자 수요가 증가할 것으로 기대할 수 있다. 이에 통행시간의 감소와 비용의 할인을 다음과 같은 방법으로 적용하였다.

우선 통행비용은 승용차의 경우 통행시간 및 통행거리를 이용하여 존간 평균 통행속도를 산정하고 속도별 승용차 비용을 산출하였다. 대중교통의 경우 이동거리에 따라 요금을 정하는 수도권 통합요금제를 적용하여 그 비용을 추정하였다. 마지막으로 택시는 중형택시 요금체계를 적용하여 기본요금(3,000원)+추가요금을 거리 비례로 산정하였으며, 시간 및 지역 간 이동에 따른 추가요금은 제외하였다. 통행시간은 차외시간(Out-vehicle Time)과 차내시간(In-vehicle Time)으로 나누어서 수도권 교통네트워크를 이용하여 수단별로 차내시간, 차외시간(대기시간, 환승시간, 접근시간)을 생성하였다. KTDB처럼 택시의 대기시간 및 도보시간을 각 5분으로 적용하였다. 또한 MaaS로 인해 감축된 통행시간은 ITF(2017)의 예측 결과(84~88%수준)를 반영하여 평균값인 86% 수준을 적용하였다. 한편, 승용차의 경우 차외시간의 변화가 없다고 가정하였다.

<Table 3> Travel time and cost in the Seoul Metropolitan Area

Classification			Car	Taxi	Bus	Subway	Bus+Subway
Travel Time (min)	In-vehicle time		In-Vehicle Travel Time				
	Out-vehicle Time	Waiting Time	0	5	Waiting time at the station		
		Access Time	0	5	Walking time		
		Transfer Time	0	0	Time to transfer public transportation		
Reduced Time	In-vehicle Time		-	-			
	Out-of-vehicle Time		-	(Out-vehicle Time*0.86) reduction			
Travel Cost(won)			Fuel cost	Basic fare + additional cost	Public transportation costs		
			Parking fee / toll				
Discount rate for simulation			-		10% increase from 0 to 100%.		

<Table 4> Modal Split Ratio in the Seoul Metropolitan Area

Classification					Before the MaaS			
Mode	Seoul Metropolitan Area		Seoul		Seoul Metropolitan Area		Seoul	
	Traffic Volume	Modal Split Ratio(%)	Traffic Volume	Modal Split Ratio(%)	Travel Time(min)	Travel Cost(won)	Travel Time(min)	Travel Cost(won)
Car	17,360,602	47.4	4,450,528	30.8	51	10,384	28	9,212
Taxi	3,731,704	10.2	1,991,288	13.8	61	21,951	38	12,371
Bus	8,357,662	22.8	3,553,425	24.6	88	2,656	42	1,424
Subway	4,617,872	12.6	3,172,719	21.9	72	1,682	35	1,341
Bus+Subway	2,587,402	7.1	1,288,611	8.9	68	2162	32	1,384

<Table 3>의 수도권 통행시간 및 비용 기준을 통해 MaaS 시행 전의 통행량, 수단분담률, 통행비용, 통행시간을 <Table 4>와 같이 산출하였다. 실 데이터와의 유사성 검증을 위해 교통안전공단에서 제공하는 국가 대중교통 DB 통계자료와 비교하였으며, 서울시 평일 목적 통행 당 평균 대중교통 이용요금이 1,371원으로 매우 근사하게 도출되었다. 또한 목적 통행 당 대중교통 통행시간도 34.48분으로 실측값과 유사하게 나타났다. 따라서 위의 자료를 기반으로 수단분담모형을 통해 변화하는 수단분담률 및 수익금을 산출하고자 한다.

3. 분석모형

본 연구에서는 수단분담모형을 통해 산출된 계수와 점진적 로짓모형을 활용하여 MaaS 시행에 따른 통행시간 및 비용 변화를 고려한 새로운 수단분담률을 산출하고자 한다.

1) 수단분담모형

수단분담모형은 교통수요 분석 또는 예측분야에서 필수적으로 사용되는 모형으로 도시, 경제, 교통 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있는 모형이다. 본 연구에서는 KTDB에서 구축한 수단분담모형을 활용하였다. 통행목적에 따라 수단선택모형을 구축하였으며 통행빈도가 가장 높은 가정기반 통근통행 모형을 이용하였다. 해당 모형은 교통 수요 분석에서 일반적으로 이용되는 효용이론에 근거한 확률선택 모형 기반 로짓 모형(Logit Model)을 적용하고 있다. 지하철, 버스, 택시, 승용차로 총 4개의 수단으로 집계하여 모형을 구축하고, 수단선택 모형 변수로 통행시간(차내시간+차외시간), 총 통행비용, 더미변수를 사용하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$U_i = \beta_1 T_{time_i} + \beta_{2,pr} T_{\cos t_i} + dummy_i \quad (1)$$

$$U_j = \beta_1 T_{time_j} + \beta_{2,pu} T_{\cos t_j} + dummy_j \quad (2)$$

$\beta_{2,pr}$: Car, $Taxi$ cost $coefficient$

$\beta_{2,pu}$: Bus, $_{way}$, $Bus + _{way}$ cost $coefficient$

$i = 1,2(car, taxi)$

$j = 3,4,5(bus, _{way, bus+_{way}})$

분석 시 이용한 가정기반 통근통행 수단분담모형의 계수는 아래 <Table 5>와 같다. 해당 계수를 통해 MaaS 도입에 따라 변화하는 통행시간과 통행비용을 적용한 수단분담률을 산출하고자 한다.

<Table 5> Modal Split Model Parameter(KTDB)

Mode	KTDB Modal Split Model					
	T_{time} $coefficient$	t-ratio	T_{cost} $Coefficient$	t-ratio	dummy	t-ratio
Car	-0.030513	-106.064	-0.014217	-31.8506	2.15846	33.1765
Taxi					-2.08676	-31.8484
Bus			-0.030528	-15.327	0.892104	20.6634
Subway					2.34424	52.818
Bus+Subway					-0.208306	-27.7326

2) 점진적 로짓모형

수단분담모형을 이용해 신규 사업으로 인한 새로운 수단분담률 산출 시 효용변화와 사업 시행 전 수단 분담률을 반영할 수 있는 과정이 필요하다. 기존에는 보정을 위해 보정더미변수를 추가하였으나, 복잡한 방식과 더미변수의 영향력에 대한 문제가 발생할 수 있다. 이에 단순하고 일관성 있는 점진적 로짓모델(Incremental Logit model)을 활용하여 분석하고자 한다.

점진적 로짓모델은 종속변수의 변화에 따른 효용의 변화를 이용하여 각 대안에 대한 선택확률을 추정하는 방법이다. 즉 MaaS 사업 시행 전후의 수단분담률을 동시에 고려한 새로운 수단분담률 산출이 가능하며 그 식은 다음과 같다.

$$P_i^* = \frac{P_i \exp \triangle V_i}{\sum_{j=1}^{n} P_j \exp \triangle V_j} \quad (3)$$

$P_i^* = \text{Prob. of selection} \in i\,(After\ MaaS)$

$P_i : Modal\ split\ ratio(MaaS\ is\ enforced)$

$\triangle\ V_i : Change \in the\ Utility\ of\ Mode\ i\,(before \text{ and } after\ the\ MaaS\ project)$

Ⅳ. 분석결과

1. 시나리오 개요

본 연구의 시나리오는 통행비용의 할인, 통행시간의 감축, 통행비용과 시간의 감축에 따른 수익금변화로 총 3가지 분석을 수행하였다. 우선 통행비용 할인은 대중교통에 적용시켰으며, 0~100%까지 10%단위로 할인율을 변화시켰다. 두 번째로 통행시간 감소는 차내 시간은 고정하고 대신 MaaS가 제공하는 다양한 교통정보를 통해 대중교통과 택시의 대기 시간을 줄여서 OECD ITF(2017)의 연구결과에서 제시한 84~88%의 평균값인 86%수준으로 적용하였다.

<Table 6> Scenario

Classification	Travel Cost(Fare)	Travel time
Scenario 1	○ (0~100% discount rate by 10%)	×
Scenario 2	×	○ (waiting time 86% reduction)
Scenario 3	○ (0~5% discount rate by 1%)	○ (waiting time 86% reduction)

2. 통행비용 할인에 따른 변화(시나리오1)

MaaS를 통해 통행비용을 할인하는 경우 10%단위로 증가시켜 적용한 결과 수담분담율의 변화와 수입금은 <Table 7>에 정리되어 있다. 할인율이 10%일 때 비승용차 수요는 0.3% 증가하며, 할인율이 40%를 넘으면 비승용차수단통행의 통합분담률이 1% 이상 증가하는 것으로 추정되었다. 할인율이 높을수록 전환수요의 폭도 커지지만, 수입금도 감소해 MaaS 운영자의 부담이 크게 증가한다는 것을 알 수 있다.

<Table 7> Analysis Result of Scenario 1 (Travel Cost Discount)

Discount rate(%)	Modal split ratio(%)					Modal split change(%)					Revenue (100 million won)
	Car	Taxi	Bus	Subway	Bus/ Subway	Car	Taxi	Bus	Subway	Bus/ Subway	
0%	47.4%	10.2%	22.8%	12.6%	7.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
10%	47.1%	10.1%	23.1%	12.7%	7.1%	-0.3%	-0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	-373
20%	46.8%	10.0%	23.3%	12.8%	7.1%	-0.6%	-0.2%	0.5%	0.2%	0.0%	-750
30%	46.5%	9.9%	23.6%	12.9%	7.1%	-0.9%	-0.3%	0.8%	0.3%	0.1%	-1,130
40%	46.2%	9.8%	23.9%	12.9%	7.2%	-1.2%	-0.4%	1.1%	0.3%	0.1%	-1,513
50%	45.9%	9.7%	24.1%	13.0%	7.2%	-1.5%	-0.5%	1.3%	0.4%	0.1%	-1,900
60%	45.6%	9.7%	24.4%	13.1%	7.3%	-1.8%	-0.5%	1.6%	0.5%	0.2%	-2,277
70%	45.3%	9.6%	24.7%	13.2%	7.3%	-2.1%	-0.6%	1.9%	0.6%	0.2%	-2,657
80%	45.0%	9.5%	25.0%	13.3%	7.3%	-2.4%	-0.7%	2.2%	0.7%	0.2%	-3,040
90%	44.7%	9.4%	25.2%	13.3%	7.4%	-2.7%	-0.8%	2.4%	0.7%	0.3%	-3,427
100%	44.7%	9.4%	25.2%	13.3%	7.4%	-2.7%	-0.8%	2.4%	0.7%	0.3%	-3,881

3. 통행시간 감소에 따른 변화(시나리오2)

두 번째 시나리오인 통행시간 감소에 따른 변화를 분석하기 위해 통행비용을 고정하고 통행시간 감축만을 적용하였다. 대중교통(버스, 지하철)의 대기시간만을 감소시켰을 때(1안)와 택시를 MaaS 수단 중 하나로 보고 대기시간을 감소시켰을 때(2안)의 변화를 살펴보고 이에 따른 분담율과 수익금의 변화를 분석하였으며, 도출된 결과는 <Table 8>에 요약되어 있다.

1안은 대중교통 수단의 통행시간만을 감소시킨 경우로 버스, 지하철, 버스+지하철 등을 합한 대중교통의 수담분담율이 2.6% 증가하였으며 MaaS 수익률이 123.1억원 증가하는 것으로 분석되었다.

2안은 대중교통의 대기시간 감소와 O2O서비스를 통해 택시의 대기시간을 동시에 고려한 결과로 택시로 0.4%, 대중교통으로 2.2%로 전환되었으며 112.5억원의 MaaS 수익증대로 이어졌다. 1안과 비교했을 때 비승용차 수단 전체의 수입 증가폭이 낮은 것으로 추정되었다.

<Table 8> Analysis Result of Scenario 2 (Travel Time Reduction)

Taxi Travel Time	Modal split ratio(%)					Modal split change(%)					Revenue (100 million won)
	Car	Taxi	Bus	Subway	Bus/ Subway	Car	Taxi	Bus	Subway	Bus/ Subway	
Basic	47.4%	10.2%	22.8%	12.6%	7.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
Alt 1	45.2%	9.7%	24.6%	13.3%	7.3%	-2.2%	-0.5%	1.8%	0.7%	0.1%	123.1
Alt 2	44.7%	10.6%	24.3%	13.2%	7.2%	-2.7%	0.4%	1.5%	0.6%	0.1%	112.5

4. 통행시간 및 비용 감소에 따른 변화(시나리오3) 및 적정할인률 산정

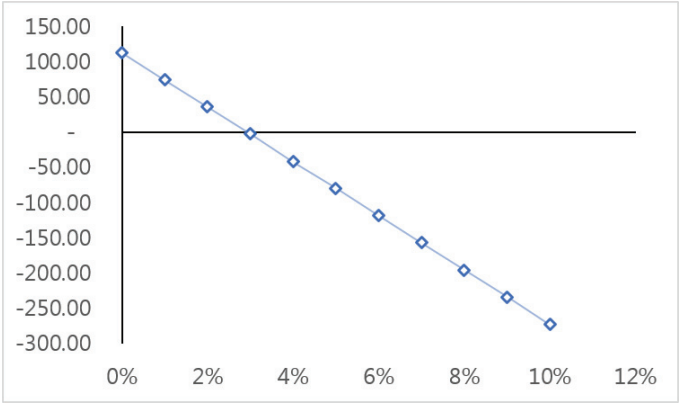
마지막으로 시나리오 3에서는 MaaS를 통해 통행시간과 통행비용이 동시에 감소할 때 수익금의 손실이 발생하지 않는 적정 할인율을 분석하였다. 시나리오1의 분석 결과 요금할인율을 10% 적용했을 때 3.73억원의

수입금이 감소하는 것으로 나타났기 때문에 시나리오3에서는 손실이 최소화되도록 할인율을 5% 이내로 한정하였다. 통행시간의 감소는 시나리오2의 2안인 택시와 대중교통의 통행시간 감소를 모두 고려한 상태를 기준으로 하였다. 분석결과 시나리오1과 같이 할인율이 증가할수록 대중교통 수요는 증가하였으나 수입금은 요금할인율이 3%에 이르면 감소하기 시작하는 것으로 나타났다(Table 9).

<Table 9> Analysis Result of Scenario 3 (Travel Cost & Time Reduction)

Discount rate(%)	Modal split ratio(%)					Modal split change(%)					Revenue (100 million won)
	Car	Taxi	Bus	Subway	Bus/ Subway	Car	Taxi	Bus	Subway	Bus/ Subway	
0%	44.7%	10.6%	24.3%	13.2%	7.2%	-2.7%	0.4%	1.5%	0.6%	0.1%	112.5
1%	44.7%	10.6%	24.3%	13.2%	7.2%	-2.7%	0.4%	1.5%	0.6%	0.1%	73.1
2%	44.7%	10.6%	24.3%	13.2%	7.2%	-2.7%	0.4%	1.5%	0.6%	0.1%	35.7
3%	44.6%	10.6%	24.4%	13.2%	7.2%	-2.8%	0.4%	1.6%	0.6%	0.1%	-2.8
4%	44.6%	10.6%	24.4%	13.2%	7.2%	-2.8%	0.4%	1.6%	0.6%	0.1%	-42.1
5%	44.6%	10.6%	24.4%	13.2%	7.2%	-2.8%	0.4%	1.6%	0.6%	0.1%	-79.8

MaaS 시스템 도입 시 수익금의 적자가 발생하지 않으면서 수요전환이 최대로 이뤄지는 최적할인율을 산정한 결과 2.56% 수준으로 분석되었다. 이는 통행비용 할인이 2.56% 수준으로 적용할 경우 손실이 발생하지 않는 범주에서 최대의 수요전환 효과가 나타나는 것으로 판단할 수 있다.



<Fig. 2> Changes in Revenue due to Travel Time-Cost Discounts

Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 수도권에 MaaS를 도입했을 때 통행시간과 통행비용의 변화에 따른 수단분담률을 분석하고 수익성이 악화되지 않는 범위에서 이용수요가 최대가 되는 최적할인율을 추정하였다.

본 연구를 요약하면 다음과 같다. 분석의 결과 통행비용 할인에 비해 통행시간의 감소가 이용 수요 증진 효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 이용자가 수단을 선택할 때 통행시간에 민감하게 반응하는 결과로 볼 수

있다. 이는 수도권에 MaaS를 도입할 때 통행비용을 감소시키는 방향 보다는 통행시간을 최소화 할 수 있는 이동계획을 수립하고 개개인에게 정보를 제공하는 것이 이용자 확보에 큰 영향을 끼칠 것으로 판단할 수 있다. 또한, MaaS 도입 시 운송업체의 수입금을 추정한 결과 도입초기에 통행비용 할인 없이 시간단축 만으로도 서비스 유지가 가능하다고 사료된다. 다만 분석과정에서 유발수요를 고려하지 않았기 때문에 실제 MaaS 운영 시 본 연구의 결과보다 더 큰 수요가 창출될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 분석결과에 따라 MaaS 이용자 수요를 확보할 수 있는 방안은 다음과 같다. 첫째, MaaS 플랫폼을 통한 통행시간 단축으로 초기 이용수요를 확보하는 것이다. 위에서 언급했듯 통행비용을 2.53% 할인할 경우 운수업체의 수익금 손실이 발생하지 않으며, 이동계획 설계에 따라 통행시간을 감소시킨다면 초기 이용수요를 창출 할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 수집된 데이터의 활용에 따라 이용자 맞춤형 서비스를 제공하고자 한다. 초기 이용수요의 통행데이터를 누적하여 이용자별 선호수단, 이용패턴 등을 분석하여 향후 이동성의 편의를 제공할 수 있고 이는 다시 이용수요를 늘리는데 기여할 것으로 사료된다.

셋째, 이용수요의 증진효과를 통해 MaaS에 참여하는 교통수단을 확충하고자 한다. 기존 대중교통과 택시 이외에 퍼스널 모빌리티, 카셰어링 등 다양한 수단을 확충함으로서 서비스의 질을 높여 이용률 증가를 기대할 수 있다.

넷째, 축적된 데이터를 이용한 빅데이터 부대사업을 제안할 수 있다. 이용자의 수요가 충분히 확보가 되고 MaaS 플랫폼이 활성화 될 경우 개인의 다양한 데이터를 수집 할 수 있을 것으로 판단된다. 빅데이터 분석을 통해 새로운 정보를 생성하여 다양한 서비스를 개발하고 데이터 판매, 컨설팅 등 새로운 비즈니스를 통해 수익 창출을 기대할 수 있다. 사업적인 측면에서의 효과 이외에 서울시에서 계획 중인 단순 교통비용 할인 정책과 비교했을 때 승용차의 분담률 감소 및 이용수요 증진 효과 측면에서 경쟁력이 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 한계점은 먼저 통행시간 단축효과 기준에 대한 신뢰성 문제를 들 수 있다. 본 연구에서는 통행시간 단축효과를 ITF(2017) 선행연구 결과에 의존하고 있다. 또한 통행시간 감소의 기준을 모든 존에 동일하게 적용하였기 때문에 지역적인 차이를 고려하지 못하였다. 이에 MaaS의 통행시간 단축효과를 지역적으로 분석할 경우 단점을 일부 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

두 번째, 시뮬레이션에 활용한 데이터는 행정동 단위의 수단별 OD 데이터로 기존 수단분담모형을 활용하여 분석하였는데 이는 다수단 이용에 대한 경로 분석을 실시하지 못하여 복합교통 서비스 분석이라는 관점에서 한계를 갖는다. 향후 MaaS 서비스 시행에 따라 이용자를 확보할 경우 개별 복합경로 데이터를 수집할 수 있으며 보다 정확한 데이터 분석 및 서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

세 번째, 본 연구는 수도권에서 제공하는 가구통행실태조사 2010년도 전수화 자료를 기반으로 하고 있어 현실성이 다소 낮다는 점이다. 2010년 이후 공항철도 및 신분당선, 분당선 등 지하철 노선이 개통 및 연장되었으며 심야버스, 나눔카 등 새로운 교통수단이 운영되어 이러한 수단들을 반영하지 못하였다. 이에 현재의 교통 환경을 반영할 수 있는 데이터 확보가 필요하며 이를 통해 분석 할 경우 더욱더 정확한 분석이 가능할 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 재단법인 스마트교통복지재단의 학술기술연구사업 연구비지원(STWF-2018-004)을 받아 수행된 연구이며, 본 논문의 초기 아이디어는 2018년 9월 대한교통학회 추계학술대회에서 발표하였으며 이자영(2018)의 홍익대학교 석사학위 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

REFERENCES

CATAPIULT(2015), *The Transport Data Revolution*, www.ts.catapult.org.uk

DESA, *World Urbanization Prospects 2018*, UNITED NATIONS.

Finger M. et al.(2015). "Mobility as-a-Service: from the Helsinki experiment to a European model?", *3rd European Intermodal Transport Regulation Summary.*

Heikkila S.(2014), *Mobility as a Service - A Proposal for Action for the Public Administration*, Case Helsinki.

Im, I. J.(2017), "Development status and implications of Mobility as a Service," *RoadBrief,* no. 116, pp.6-7.

Jang B. H.(2017), *Changes in Future Transportation and Implications in the Automotive Industry*, Weekly KDB Report.

Kamargianni M., Matyas M., Li W. and Schäfer A.(2015), *Feasibility Study for "Mobility as a Service, concept in London*, Report - UCL Energy Institute and Department for Transport.

Kerttu et al.(2016), "Understanding institutional enablers and barriers to the dissemination of MaaS: A tentative framework," *ICoMaaS 2017*, pp.204-208.

Kwon Y. J.(2016), "A Study on the Innovation and Improvement of Future Transportation Management," *Monthly KOTI Magazine on Tranport*, pp.21-28.

Li Y. and Voege T.(2017). "Mobility as a Service (MaaS): challenges of implementation and policy required," *Journal of Transportation Technologies,* vol. 7, no. 2, pp.e95-e95.

MaaS Alliance(2017), "White Paper - Guidelines & Recommendations to create the foundations for a thriving MaaS Ecosystem," *MaaS Alliance AISBL*, www.maas-alliance.eu, 2018.10.15.

MaaS Global(2017), http://whimapp.com, 2018.10.15.

Melis A., Prandini M., Giallorenzo S. and Callegati F.(2017), "Insider threats in emerging mobility-as-a-service scenario," *In Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences.*

Mourey T. and Dagmar K.(2017), *Sharing gets you further*, Thematic Guidelines European Mobility Week 16-22 september 2017.

OECD ITF(2017), *Shared Mobility Simulations for Helsinki, Case-Specific Policy Analysis*, October 2017.

Seo W. H. and Hwang K. Y.(2016), "Urban transport changes from ownership to sharing, mature city of Seoul," *Seoul Institute*, pp.194-228.