

# 혁신도시이전 공공기관의 카풀 도입 편익분석

## Benefit Analysis of Carpool Service in Public Agencies Transferring Innovation Cities

도 명 식\* · 정 호 용\*\*

\* 주저자 및 교신저자 : 한밭대학교 도시공학과 교수

\*\* 공저자 : 한밭대학교 도시공학과 석사과정

Myung sik Do\* · Ho yong Jung\*

\* Dept. of Urban Eng., Hanbat National University

† Corresponding author : Myung sik Do, msdo@hanbat.ac.kr

Vol.16 No.6(2017)

December, 2017

pp.169~181

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.6.169>

2017.16.6.169

Received 26 September 2017

Revised 23 October 2017

Accepted 21 November 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

자동차 보급률이 증가함에 따라 교통 혼잡과 관련된 문제가 대두되고 있으며 선진국을 중심으로 카풀 등의 공유교통이 주요 관심사로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 혁신도시 이전공공기관의 기관 내 종사자를 대상으로 중·장거리 출·퇴근 시에 카풀을 도입할 경우에 발생하는 편익을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 이전공공기관의 카풀 이용 수요를 추정하고 교통류 모형을 이용하여 카풀을 도입함에 따라 감소하는 교통량에 따른 통행속도를 추정하였다. 편익은 직접편익과 간접편익으로 구분하였으며 분석결과, 직접편익과 간접편익은 연간 약 230억 원, 565억 원의 편익이 발생하는 것으로 나타나 향후 장래 교통수요관리를 위한 카풀 도입의 기초연구로 활용할 수 있을 것이라 기대된다.

핵심어 : 카풀도입편익, 카풀수요, 카풀 앱 라이드, 혁신도시, 교통류 모형

### ABSTRACT

As vehicle supply rate increases, traffic jam-related problems emerge and sharing transportation including carpool, centered on the advanced countries, becomes a major interest. This study aims to analyze benefit generated by carpool during the rush hours of medium and long distance travel, focused on the workers of public Agencies relocated to innovation cities. In order to compute benefit, carpool demand of relocated public Agencies was estimated and travel speed was estimated according to reduced traffic volume through carpool adoption using a traffic flow model. The benefit were computed dividing them into direct benefit and indirect benefit. As a result, 23billion KRW and 56.5billion KRW were annually revealed to be generated in terms of direct benefit and indirect benefit. The study result is expected to be used as part of basic research to adopt carpool for future traffic demand management.

Key words : Benefit of carpool introduction, Carpool demand, Carpool App. RIDE, Innovation city, Traffic flow models

## I. 서 론

### 1. 개 요

자동차 보급률이 증가함에 따라 교통 혼잡을 비롯한 주차, 환경오염 등 다양한 부문에서 문제점이 나타나고 있으며 출·퇴근 시간의 나홀로차량 증가와 대부분의 개인 승용차가 출·퇴근 등의 짧은 시간동안만 이용되고 있음으로 인해 주차장 확보 등 다양한 문제가 나타나 선진국을 중심으로 공유의 개념이 대두되기 시작하였으며 국내에서도 공유경제·공유교통 등이 주요 관심사로 떠오르고 있는 추세이다.

공유의 개념이 대두됨에 따라 교통부문에서는 카셰어링(Car-sharing)과 카풀(Carpool)같은 공유교통이 주목받기 시작하였다(Ko and Yu, 2013). 여기서 카셰어링은 일반적으로 시간단위로 차량을 렌트하는 개념을 말하며 카풀은 Ride-Sharing이라고도 부르기도 하며 출발지와 도착지의 시간대가 비슷하거나 같은 사람들이 운전자 소유의 차량을 이용하여 이동하는 것을 말한다. 카풀은 대기오염의 감소와 유류비, 통행료 등 발생하는 교통(통행)비용 절감 등의 긍정적인 측면과 달리 신원의 불명확성으로 인하여 여성들의 안전문제 및 개인정보 도용문제와 사고발생 시 보험과 관련한 문제, 여러 사람이 한꺼번에 이동하는 것이기 때문에 출·퇴근 시간 등을 조정하는 것이 어렵고 시·종점이 달라 매칭이 어렵다는 등의 부정적인 측면이 존재하여 해외 선진국에 비해 국내에서는 활성화가 되지 못했지만 최근 이러한 문제점을 극복하기 위해 기관 내 종사자(inter-company)를 대상으로 한 카풀 서비스(예를 들어, RIDE)가 운영되고 있다(Do, 2016; Jung et al., 2017).

최근 세종정부청사의 정착과 함께 지역의 혁신거점 형성 및 국토 균형발전을 위해 추진된 혁신도시는 지방의 균형발전 및 지역발전을 위해 실시되었다. 하지만 혁신도시의 실상은 이전대상공공기관들이 이전을 시작하면서 혁신도시에 가족 모두가 내려오지 않고 종사자들만 단독이주를 하여 주중 혹은 주말에 중·장거리 출·퇴근을 하는 종사자들이 증가하게 되었다. 이로 인한 자동차의 통행량은 증가하게 되어 더욱 혼잡을 가중시키고 있는 상황이며 대책 마련이 시급한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 혁신도시이전 공공기관의 이동성을 지원하고 기존의 카풀 서비스가 가진 단점을 극복하기 위해 개발된 기관 내부 종사자를 대상으로 하는 카풀 서비스(RIDE)를 도입하는 경우를 가정하여 발생하는 경제적인 편익의 산정을 통해 혁신도시 이전공공기관의 카풀 도입효과를 추정하고자 한다.

연구의 흐름은 먼저 대상범위를 혁신도시 이전공공기관으로 한정하여 출·퇴근 시의 카풀이용수요를 예측하였다. 여객자동차운수사업법에 따르면 사업용이 아닌 자가용 자동차가 돈을 받고 운송(유상운송)을 하면 위법이지만 예외적으로 출·퇴근 때 승용차를 함께 타는 경우 유상운송이 가능하기 때문에 출·퇴근 시로 한정하여 카풀이용수요를 예측하였다. 이때 국토교통부에서 제공하고 있는 혁신도시 이전공공기관의 이전예정 인원 자료를 활용하여 중·장거리 출·퇴근 인원을 예측하고 그 중에서 승용차를 통해 출·퇴근이 이루어지는 인원만을 대상으로 카풀이용수요를 추정하였다.

카풀이용에 따른 경제적인 편익산정은 카풀 미도입시와 도입 시의 고속도로 구간 교통량 및 통행속도의 차이를 기반으로 MOLIT(2013)의 『교통시설 투자평가지침서』에서 제시하고 있는 도로이용자편익항목에 대한 편익분석을 수행하였다. 여기서 편익은 카풀을 직접 이용하는 탑승자와 운전자의 직접 편익과 카풀 이용으로 인한 해당 구간의 도로환경변화로 인한 간접 편익으로 구분하여 산정하였다. 카풀 미도입시의 교통량 및 통행속도는 한국도로공사에서 제공하는 이전공공기관들의 출·퇴근 경로에 해당하는 VDS 교통량과 통행속도 자료를 활용하였으며 카풀 도입 시의 통행속도는 해당 구간의 교통량과 통행속도자료를 활용하여 최적의 교통류 모형을 선정하여 편익을 산정하였다.

## 2. 선행연구 고찰

공유교통에 관한 연구는 국내·외에서 활발히 진행되고 있는데 주로 카셰어링을 대상으로 서비스 도입을 위한 활성화 방안 및 입지선정 방안에 관한 연구(Do and Noh, 2013; Katzev, 2003)와 서비스 도입에 따른 환경적인 편익 등에 대한 연구(Lee et al., 2007; Jang et al., 2008; Yoon et al., 2010; Park and Moon, 2013)가 이루어졌다.

한편 카풀을 대상으로 한 연구에서는 서비스 측면과 환경오염절감 효과에 관한 연구가 주로 이루어졌는데, Stiglic et al.(2016)은 카풀 시스템의 매칭율을 높이기 위해선 운전자와 탑승자의 출발시간과 도착시간이 최소 10~15분 사이가 바람직하며 성공적인 카풀 시스템의 매칭을 위해선 운전자의 희생이 필요한 점을 강조하였다. Ko and Yu(2013)는 서울시를 대상으로 공유교통 활성화를 통한 정량적이고 정성적인 효과 추정결과, 주차면 감축으로 약 2조원의 경제적 효과가 발생할 것이라 예상하였으며 차량 보유 및 유지비 절감으로 매년 약 1,062억 원의 비용 절감효과도 발생할 것이라 분석하였다. 또한 Caulfield(2009)는 Dublin을 대상으로 통계 자료를 활용하여 Ride-Sharing을 이용하는 3가지 시나리오를 적용하여 자동차 주행거리와 CO<sub>2</sub> 절감효과에 대하여 연구하였으며 매주 평일 출근통행에 카풀을 도입할 경우 약 12,600톤의 CO<sub>2</sub>의 감소효과가 있으며 이는 706,428 유로에 해당한다고 밝힌 바 있다. 나아가 Amey(2011)는 매사추세츠 공과대학의 교직원, 학생 등을 대상으로 하루 출·퇴근 인구의 50-77%가 카풀을 이용할 수 있을 것으로 예측하면서 카풀을 이용할 경우 일일 주행거리가 최대 9-27% 정도 감소할 것으로 예측하였다.

선행연구들을 고찰한 결과, 국내·외의 공유교통과 관련된 연구는 카셰어링과 카풀의 도입을 위한 활성화 방안과 환경적인 편익 등에 관련한 연구가 주로 이루어졌다. 특히 카풀의 경우에는 국가 및 지역별로 카풀서비스에 대한 제약조건이 상이하며 우리나라와 같이 출퇴근에 한해 카풀을 허용하는 경우는 극히 예외적이며 자동차에 대한 인식도 국가별로 큰 차이가 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 법 현실의 범위 내에서 혁신도시 이전공공기관을 대상으로 교통류 모형을 통해 출·퇴근 시간에 카풀을 도입하였을 경우에 발생하는 사회·경제적인 효과를 정량적으로 살펴보고자 한다. 특히 기존의 타인과의 탑승에 대한 안전에 대한 우려와 탑승자를 위해 우회해야 하는 운전자의 희생을 줄이고자 개발된 기관 내 종사자를 위한 카풀 앱 서비스를 도입하는 경우 예상되는 이용자의 직접편익과 해당 구간을 이용하는 차량의 간접편익의 산정방안을 제시하는 첫 사례로서 의미가 있다고 판단된다.

## II. 카풀 서비스 개념과 도입효과 분석

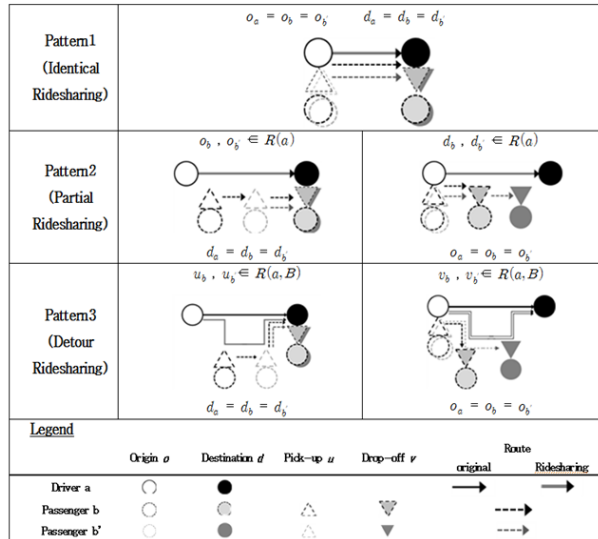
### 1. 카풀 서비스 개념

카풀 서비스의 종류는 <Fig. 1>과 같이 세 가지로 구분할 수 있다. 출발지(Origin, O)와 목적지(Destination, D) 간의 최적경로 상에서 승차(pick up, u)와 하차(drop-off, v)가 이루어지는 경우와 탑승자에 따라 경로가 변경되는(우회하는) 경우로 크게 구분할 수 있다. <Fig. 1>에서 운전자 a의 원 경로는 R(a)이고 운전자 a와 탑승자(b, b')에 의해 이루어지는 카풀 경로 집합을 R(a, B)로 표현한다(Masabumi et al., 2013).

즉, Pattern 1은 운전자의 입장에서 출발지와 목적지가 동일한 탑승자를 태우는 경우이며 Pattern 2는 출발지 혹은 목적지 가운데 하나가 동일한 경우 도중에 탑승자가 원하는 위치에서 태워주거나 내려주는 경우이다. 마지막으로 Pattern 3은 운전자의 원래 경로에서 벗어나 탑승자를 위해 우회하는 경우로 운전자의 입장에서는 Pattern 1, 2에 비해 상대적으로 부담스러운 서비스 형태이다. 특히 탑승자의 하차 위치가 원 경로에서

많이 벗어나는 경우에는 카풀 이용에 따른 비용 지불과 경로 선택 등에 불만이 생길 수도 있으며 이러한 불편함으로 인해 운전자 및 탑승자에게 카풀 서비스를 포기하게 하는 원인이 되기도 한다.

대부분의 카풀 서비스에 대한 연구는 Pattern 3의 경우를 가정하여 우회노선의 탐색, 탑승객과의 매칭 그리고 카풀비용의 산정 방안에 대해 이루어졌으며, 서비스의 종류에 따라 장·단점이 있지만 Pattern 2의 경우처럼 동일한 기관(회사 등)에서 출·퇴근을 하는 경우가 운전자와 탑승자 모두에게 유리하다 할 수 있다.



(Fig. 1) Concept of Carpool Service

한편 주차난, 환경오염문제 등의 해결대안 중 하나인 카풀은 미국, 프랑스, 중국 등을 중심으로 활발히 운영되고 있으며 프랑스의 BlaBlaCar, 중국의 디디핀차 등이 대표 사례이다. 프랑스의 BlaBlaCar는 전 세계 18개국에 회원 수 2천만 명을 보유하고 있으며 주로 도시간 장거리 통행, 레저통행 등에 많이 이용되고 있다. 또한 중국의 디디핀차의 경우 2014년 4월 서비스를 시작한 카풀 앱으로 2015년 6월 기준 등록 운전자 수 150만 명, 사용자 수 1,600명을 기록하고 있으며 베이징, 상하이, 광저우 등의 30곳이 넘는 중국의 대표도시에서 하루 약 12만 건의 카풀이 성사되고 있다.

반면 국내의 경우 티클(tikle)과 판교·분당 지역을 중심으로 서비스를 운영 중인 풀러스(Poolus)와 라이드(RIDE) 등이 대표적인 카풀 서비스 사례이다. 그 중 RIDE는 기존의 카풀 서비스의 단점을 보완하기 위해 기관 내 종사자들을 대상으로 하여 안전에 대한 우려를 없애고 탑승자를 태우고 하차시키기 위한 운전자의 희생을 줄이는 출·퇴근 카풀 서비스를 제공하고 있으며 <Fig. 1>의 Pattern 2의 서비스 모델을 기반으로 운영 중에 있다.

## 2. 카풀이용수요 예측

카풀이용수요를 예측하기 위해 기존소재지에서 이전 소재지로의 출·퇴근 경로는 고속도로에서의 통행을 대상으로 범위를 한정하고 기관들의 소재지 인근 IC에서 진·출입이 이루어지는 것으로 가정하였다.

통계청에 따르면 우리나라 1일 평균통근시간은 2010년 기준 58분으로 OECD 국가 중 가장 긴 것으로 나타났다. 또한 MOLIT(2016)에서 조사한 시간대별 교통량을 살펴보면 오전 첨두의 경우 오전 8시에서 10시 사

이에 교통량이 가장 많았으며 오후 첨두는 오후 5시부터 7시 사이가 가장 많은 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 1일 평균 통근시간, 시간대별 교통량과 기관들의 인근 진출·입 가능한 IC까지의 소요시간을 고려하여 이전예정이거나 이전을 완료한 공공기관 가운데 기존 소재지에서 이전 소재지까지의 통근을 위한 소요시간이 3시간 이상인 경우 수요가 많지 않을 것으로 예상하여 약 3시간 이내에 해당하면서 이전예정인원이 많은 상위 30개 기관을 최종 선정하여 카풀 도입에 따른 비용편익을 분석하였다.

먼저 본 연구에서는 국토교통부에서 제공하고 있는 혁신도시 이전공공기관의 이전예정인원 자료를 활용하여 중·장거리 출·퇴근 인원을 예측하고 그 중에서 승용차를 통해 출·퇴근이 이루어지는 인원만을 대상으로 카풀이용수요를 추정하였다. 혁신도시와 관련된 기존의 연구결과에 의하면 혁신도시이전 대상인원의 약 26%가 출·퇴근을 할 계획이며 이 중 평균 32%가 승용차를 이용할 것으로 조사된 바 있다(Kwon et al., 2014; Jung and Park, 2014). 나아가 KTDB에 따르면 2010년 조사된 가구통행조사의 출근통행 평균 재차인원은 1.4 명으로 제시된 바 있다.

본 연구에서는 기존의 연구내용을 바탕으로 각 이전기관의 카풀이용수요를 추정하였으며 예측된 카풀이용수요를 차량 단위로 환산하기 위하여 카풀을 이용할 수 있는 카풀이 성사되기 위한 최소 재차인원인 운전자 1명과 탑승자 1명의 경우로만 가정하여 재차인원을 적용한 각 기관별 최종 카풀이용수요를 산정하였다 (<Table 1>).

$$Agencies\ Carpool\ use\ Demand = Expected\ People \times Commute\ Ratio\ by\ Region \times Car\ Modal\ Split \div 2 \tag{1}$$

<Table 1> Public Agencies Carpool use demand in Innovation cities

Agency Name	Region	Expected people (people)	Carpool Use Demand (veh)
KEPCO-ENC	Gimcheon	2,494	88
NAAS	Jeonbuk	1,216	54
NHIS	Gangwon	1,192	79
NHI	Chungbuk	1,106	103
HIRA	Gangwon	1,088	72
⋮	⋮	⋮	⋮
KISTEP	Chungbuk	290	27
KATS	Chungbuk	290	27
KOTI	Sejong	280	13
KIHASA	Sejong	268	13
Total		17,874	1,005

### 3. 구간별 교통류 모형

본 연구에서는 카풀도입에 따른 교통수요의 변화에 대한 구간통행속도의 산출을 위해 한국도로공사의 VDS 자료를 활용하여 각 기관들의 이동경로에 해당하는 고속도로 구간에 대한 교통류 모형을 정립하였다. 카풀 도입에 따른 도로구간의 교통수요변화는 통행속도의 변화 또한 야기하게 되는데 혁신도시 이전기관에서(혹은 까지)의 통근거리와 시간에 따라 고속도로 통과구간별 수요가 달라진다. 즉, 통행수요의 변화로 인한 통행속도의 차이가 통행시간 비용함수에 미치는 영향을 정량화시켜 편익산정에 활용하기 위해 본 연구에서는 교통류 모형을 정립하여 구간통행속도의 변화를 확인하고자 하였다. 또한 본 연구에서는 국내의 여객자동차운수사업법을 존중하는 범위에서 카풀의 이용목적을 출·퇴근 시간으로만 한정하였기 때문에 출근의

시간적 범위는 오전 6시부터 오전 9시, 퇴근은 오후 6시부터 오후 9시로 설정하여 VDS 데이터를 분석에 활용하였다.

VDS 자료를 분석한 결과, 30개 이전공공기관의 출근과 퇴근의 이동경로에 해당하는 구간 수는 각각 76개로 분석되었으며 그 중 경부선 35개 구간, 영동선 11개 구간 순으로 포함되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 오산IC-안성JC 상·하행 구간은 25개 이전공공기관이 통과하는 이동경로로 가장 많이 중첩되는 구간으로 나타났다으며 그 다음으로 동탄JC-오산IC 상·하행 구간이 23개 기관이 통과하는 것으로 분석되었다.

한편 교통류 모형은 Greenshields, Grenberg, Underwood, Edie, Bell-curve모형 등이 있으나 일반적으로 가장 많이 적용되어지고 있는 Greenshields, Greenberg, Underwood 세 가지의 속도-밀도 모형식을 활용하였다. 도로 구간에서의 교통류 상태를 잘 설명하는 모형의 선정이 중요하므로 본 연구에서는 모형의 선정에 있어 정확한 분석을 위해 각 구간별 모형의 R<sup>2</sup>과 오차율 분석(MAPE; Mean Absolute Per Error, RMSE: Root Mean Square Error)을 수행하여 구간별 최적의 교통류 모형을 선정하였다. 한편 <Table 2>는 선정된 모형식의 기본적인 모형식과 모형들의 매개변수들(k<sub>j</sub>, u<sub>f</sub>, k<sub>m</sub>)을 나타내고 있으며, 여기서 k<sub>j</sub>는 혼잡밀도, u<sub>f</sub>는 자유속도를 의미하며, k<sub>m</sub>은 임계밀도를 의미한다.

<Table 2> Traffic Flow Models

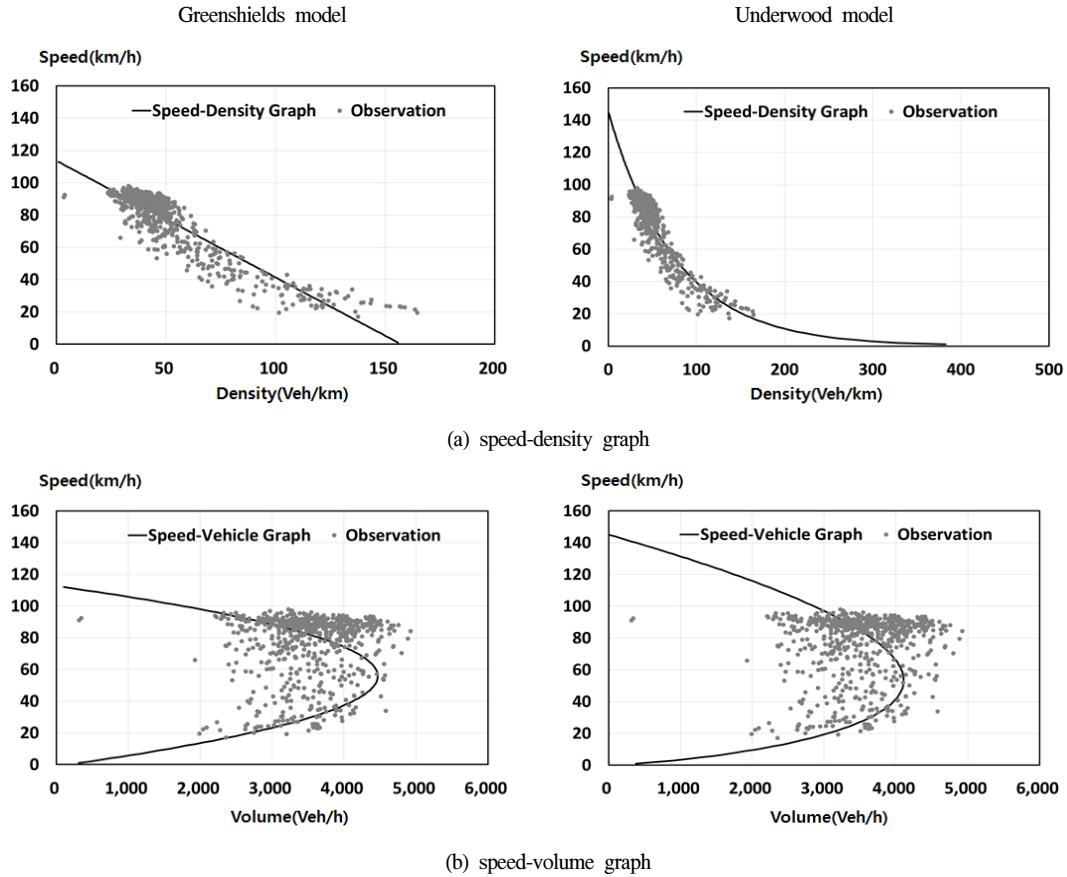
	speed-density model	speed-volume model	parameters
Greenshields model	$U = u_f - \frac{u_f}{k_j}k$	$Q = k_j \cdot (u - \frac{u^2}{u_f})$	k <sub>j</sub> , u <sub>f</sub>
Greenberg model	$U = u_m \cdot \ln(\frac{k_j}{k})$	$Q = u \cdot k_j \cdot e^{-\frac{u}{u_m}}$	k <sub>j</sub> , u <sub>m</sub>
Underwood model	$U = u_f \cdot e^{-\frac{k}{k_m}}$	$Q = u \cdot \ln(\frac{u_f}{u}) \cdot k_m$	k <sub>m</sub> , u <sub>f</sub>

분석결과, Greenberg를 제외한 Greenshields, Underwood모형 2가지 모형만이 적합한 것으로 분석되었는데 이는 log함수로 구성되어 있는 Greenberg모형의 특성 상 밀도가 낮은 경우 속도가 무한대로 커진다는 단점이 있어 고속도로의 높은 속도와 낮은 밀도 환경의 영향으로 판단된다.

<Table 3> Traffic Flow Models Results of Top 5 Sections

	Section Name	Length (km)	N	GS*		UN**		MAPE		RMSE		regression model
				k <sub>j</sub>	u <sub>f</sub>	k <sub>m</sub>	u <sub>f</sub>	GS	UN	GS	UN	
Commute to Work	OsanIC - AnseongJC	13.27	714	515	101	500	103	5,868	8,837	1.12	1.60	$U_{GS} = 101.30 - 0.20k$
	DongtanJC- OsanIC	3.89	714	258	99	200	103	1,529	2,261	0.35	0.54	$U_{GS} = 98.58 - 0.38k$
	GiheungdongtanIC- DongtanJC	4.39	714	194	109	111	124	918	1,068	0.65	1.29	$U_{GS} = 109.42 \times 0.56k$
	GiheungIC- GiheungdongtanIC	0.7	714	384	106	250	111	3,612	3,533	0.65	0.61	$U_{US} = 110.55 \times e^{-0.004k}$
	SuwonsingalIC- GiheungIC	5.09	714	277	102	167	113	1,200	1,241	0.21	0.21	$U_{GS} = 102.14 - 0.37k$
Commute from Work	AnseongJC- OsanIC	13.27	714	179	131	100	159	403	355	0.07	0.06	$U_{UN} = 158.98 \times e^{-0.010k}$
	OsanIC- Dongtan JC	3.89	714	165	117	91	140	701	379	0.12	0.07	$U_{UN} = 140.45 \times e^{-0.011k}$
	DongtanJC- GiheungdongtanIC	4.39	714	157	114	77	145	633	359	0.17	0.09	$U_{UN} = 145.14 \times e^{-0.013k}$
	GiheungdongtanIC- Giheung IC	0.7	714	265	98	125	122	1,517	642	0.26	0.12	$U_{UN} = 122.05 \times e^{-0.008k}$
	GiheungIC- SuwonsingalIC	5.09	714	199	106	111	129	909	540	0.12	0.10	$U_{UN} = 129.13 \times e^{-0.009k}$

\*GS: Greenshields, \*\*UN: Underwood



<Fig. 2> DongtanJC - GiheungdongtanIC Section Traffic Flow Models

<Table 3>은 이전공공기관의 출·퇴근 시 이동경로 해당하는 전체 76개의 구간 중 이동경로가 가장 많이 중첩되는 5개 구간의 교통류 모형 분석결과를 나타내고 있으며 <Fig. 2>는 동탄JC-기흥동탄IC 구간의 교통류 모형에 따른 속도-밀도와 속도-교통량의 관계를 나타내고 있다. 동탄JC-기흥동탄IC 구간의  $R^2$ 는 0.867로 높게 나타났으며 MAPE와 RMSE를 통한 상대적인 수치비교 결과, Underwood모형이 상대적으로 적합한 것으로 나타났다. 이와 동일한 과정을 통해 출·퇴근 각각 전체 76개 구간을 대상으로 구간별 적합모형을 선정하였다. 분석결과, 상행구간의 경우 Greenshields모형이 적합한 구간은 37개, Underwood 39개 나타났으며 하행구간은 Greenshields 32개, Underwood 44개로 서로 상이한 것으로 나타났다. 이는 동일한 구간이라도 상·하행구간의 특성이 다르며 동시에 출·퇴근 시간에 교통특성이 달라 이와 같이 분석된 것으로 판단된다.

#### 4. 편익분석

카풀 도입에 따른 편익은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데 먼저, 카풀 서비스를 이용하는 탑승자의 경우 출·퇴근을 기존 대중교통을 이용하는 경우에 카풀을 이용하는 경우에 감소되는 접근비용, 대기시간 비용, 요금 등이 있으며 운전자의 경우 탑승자들로부터 받는 이용수수료가 있는데 둘 다 카풀 서비스를 이용함으로써 생기는 직접편익에 해당한다. 둘째는 기존 고속도로 구간을 이용하는 차량 운전자들이 카풀 이용으로 인

해 상대적으로 개선된 환경에서 주행함으로써 생기는 간접편익으로 차량운행비용, 통행시간비용, 사고절감 비용, 환경오염절감비용, 소음비용 등의 절감이 이에 해당한다.

한편, 편익분석을 위한 시나리오는 기관전용 카풀 앱 서비스의 도입을 가정으로 분석하였기 때문에 최종 선정된 기관에 종사하는 직원들 중 카풀 이용자들은 이전하기 전의 기관 주소지와 이전 이후의 기관의 소재지에서 탑승과 하차가 이루어진다고 가정하였다. 또한 공휴일과 주말을 제외한 출·퇴근이 가능한 평일의 경우에만 카풀이 성사되도록 설정하였으며 차종별 시간 가치(2015년 기준)를 반영하고 MOLIT(2013)에서 제시하고 있는 비용항목에 근거하여 편익분석을 수행하였다.

1) 직접편익산정

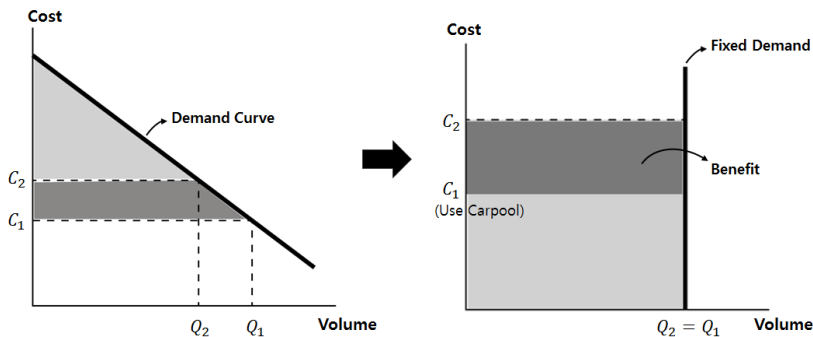
본 연구에서는 혁신도시 이전공공기관의 종사자들이 출·퇴근 시에 카풀을 이용함으로써 운전자와 탑승자에게 발생하는 직접편익을 산정해보고자 하였다. 직접편익은 대중교통을 이용할 경우 발생하는 대기시간비용, 환승시간비용 등의 차외시간과 요금 발생하게 되는데 본 연구에서는 카풀예정인원수요를 예측할 때 모두 자기소유의 차량을 가지고 출·퇴근을 하는 것으로 가정하였기 때문에 대중교통을 이용할 때 발생하는 차외시간은 제외한 차량운행비용과 톨게이트비 만을 비용항목으로 선정하였다.

카풀이 성사될 수 있는 최소 재차인원이 2명이므로 직접편익의 산정은 카풀을 미도입 할 때 각각의 운전자 2명이 자기 소유의 차량을 가지고 출·퇴근을 하는 경우 발생하는 비용에서 카풀을 도입함 따라 운전자 1명이 이동할 때 발생하는 비용의 감소분을 편익으로 산정하였다.

또한, 카풀이 활성화 된다고 해서 기존의 고속도로를 통과하던 교통량의 수요는 늘어나지 않기 때문에(전환수요는 무시) 고정수요를 가진다고 할 수 있어 본 연구에서는 고정수요로 가정하여 카풀 미도입 시 발생 비용에서 카풀 도입 시 발생비용의 감소분을 소비자 잉여(consumer surplus) 개념을 적용하여 직접편익으로 산정하였다(<Fig. 3> 참조).

$$\text{Without Carpool} : \int_0^{Q_2} (\text{Demand function})dQ - (C_2 \times Q_2) \tag{2}$$

$$\text{With Carpool} : \int_0^{Q_1} (\text{Demand function})dQ - (C_1 \times Q_1) \tag{3}$$



<Fig. 3> Fixed Demand Curve

<Fig. 4>에는 한국도로공사를 사례로 RIDE 카풀 앱을 활용한 매칭과 이용수수료의 실제 산정결과를 나타내고 있다. 기관 내 종사자를 대상으로 하기 때문에 동일한 주차장에서 카풀 서비스를 이용할 수 있다는 장



점이 있으며 운전자의 우회로 인한 희생을 최소화하였으며, 카풀이용 수수료의 경우 거리기반으로 자동 산정되어 사전에 신용카드 결제가 가능하도록 되어있다. 이를 활용하여 직접편익의 산정결과, 카풀을 미도입할 경우에 발생하는 운전자 비용은 약 1억 7천만 원, 카풀을 도입 할 경우 발생하는 운전자 비용은 8,700만 원으로 산정되었으며 이를 연간으로 환산 할 경우 각각 약 452억 원, 226억 원의 비용이 발생하는 것으로 나타나 226억 원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다(<Table 4>).



<Fig. 4> RIDE Carpool App Service (Example)

<Table 4> A Round Trip Direct Cost Results

Agency Name	Demand(veh)		Expense (1,000 KRW / veh)	Without Carpool	With Carpool
	Not Use(veh)	Use(veh)		Expense (1,000 KRW)	Expense (1,000 KRW)
KEPCO-ENC	175	88	59	20,533	10,277
NAAS	108	54	55	11,876	5,938
NHI	207	103	30	12,560	6,280
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
KATS	54	27	24	3,210	1,605
KOTI	26	13	39	2,507	1,254
KIHASA	25	13	33	2,136	1,068
Total	2,010	1,005	1,382	173,235	86,618

2) 간접편익산정

카풀 도입에 따른 간접편익을 산정하기 위한 기준 대안인 카풀 미도입 시의 구간별 통행량과 통행속도는 출근과 퇴근으로 구분하였으며 주말과 공휴일을 제외한 2016년도의 고속도로 VDS 통행 자료를 기준으로 분석을 수행하였다. 카풀 도입 시의 구간별 통행량은 카풀 미도입 시의 통행량을 기준으로 Eq. (1)을 통해 산정된 각 기관의 카풀수요를 출·퇴근 시 이용되는 해당 고속도로 구간의 시간대별 통행량의 차이를 고속도로 구간의 카풀 도입 후 통행량으로 도출하였다. 또한 본 연구에서는 해당기관의 직원들의 출·퇴근 통행 특성을 파악하기에 어려움이 있어 출·퇴근이 동일한 시간에 이루어지는 것으로 설정하였다.

카풀 미도입 시 전체 76개 구간의 평소 출·퇴근 시 평균 교통량은 약 2,900대로 나타났는데 카풀 이용자들의 이동경로가 20개 이상으로 가장 많이 중첩되는 구간인 수원신갈IC-안성JC의 경우, 평균 교통량이 약

5,000대로 나타나 교통량이 구간별로 다소 상이한 것으로 나타났다. 수도권에 위치해있는 구간들은 전체 76개 구간의 평균 교통량 대비 2,000대 이상 차이가 났으며 이를 통해 수도권 지역에서 큰 교통 혼잡이 야기되고 있음을 확인할 수 있었다.

<Table 5>는 카풀 시스템이 적용된 경우의 오산IC-안성JC 구간에 대한 시간대별 통행량의 차이를 나타내고 있다. 카풀 미도입 시의 경우 출·퇴근 시 첨두 3시간의 평균 교통량을 활용하였으며 IC에서 IC(혹은 IC에서 JC)까지의 이동시간을 기준으로 시간대별로 해당구간을 통과하는 기관을 선정하였다. 카풀을 도입할 경우에 해당구간은 06시부터 07시 사이에 13개의 기관의 종사자가 통과하며 카풀 예정 수요는 380대로 나타났다. 또한 07시부터 08시 사이에는 12개의 기관 종사자가 통과하는 것으로 나타났으며 09시 이후에는 카풀 차량이 통과하지 않는 것으로 분석되었다. 동일한 분석과정을 통해 출·퇴근 시 시간대별 각 구간별 카풀 미도입 시와 도입 시의 고속도로 구간 교통량 및 통행속도의 차이를 기반으로 간접편익을 산정하고자 하였다.

<Table 5> Carpool user Demand to OsanIC - AnseongJC Commute Route

	Section	Time Range	Agency Name	Carpool user Demand(veh)	Volume(veh) / Speed(km/h)	
					Before	After
Commuter to work	OsanIC - AnseongJC	06:00-07:00	KEPCO-ENC	88	5,198 / 89.84	4,816 / 90.86
			NAAS	54		
			∴	∴		
			NIAS	14		
			TS	11		
		Total				380
		07:00-08:00	NHI	103		4,809 / 90.88
			MFDS	60		
			∴	∴		
			KOTI	13		
Total			389			
08:00-09:00	-	0	5,198 / 89.84			
Total			0			
Commuter from work	AnseongJC - OsanIC	18:00-19:00	NHI	103	5,059 / 82.24	4,654 / 92.98
			MFDS	60		
			∴	∴		
			KOTI	13		
			KIHASA	13		
		Total				405
		19:00-20:00	NHI	54		4,851 / 87.10
			NPS	25		
			∴	∴		
			NIAS	14		
		Total				208
		20:00~	KEPCO-ENC	88		4,903 / 86.38
			∴	∴		
TS	11					
Total			156			

한편, 카풀 서비스는 주로 승용차를 대상으로 이루어짐을 감안하여 본 연구에서는 카풀의 수요를 승용차량으로 한정하여 카풀 도입후의 차종별 통행량을 도출하였으며, 간접편익을 산정하기 위한 항목으로는 MOLIT(2013)의 「교통시설 투자평가지침서」의 차량운행비용, 통행시간비용, 사고절감비용, 환경오염절감비용, 소음비용을 적용하였다.

MOLIT(2013)에서 제시하고 있는 이용자 비용 가운데 통행시간비용(TT: travel time)의 절감으로 인한 편익의 산정은 Eq (4)와 같다. 이용자 비용의 차이( $UCTT_i$ )는 카풀 미시행시일 경우의 이용자 비용에서 카풀 시행에 따른 이용자 비용의 감소분을 편익으로 산정하였으며, 주말과 공휴일을 제외한 출·퇴근이 가능한 평일만을 대상으로 분석하였다.

$$UCTT_i = TT_{do-nothing} - TT_{alt_i} \tag{4}$$

$$\text{여기서, } TT_i = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times \text{평일일수}$$

$T_{kl}$  = 링크*l*의 차종별통행시간

$P_k$  = 차종별 시간가치

$Q_{kl}$  = 링크*l*의 차종별통행량

$k$  = 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

또한, 카풀시행에 따라 절감할 수 있는 차량운행비용의 절감에 따른 편익도 Eq (5)에 의해 산정하였다.

$$UCVOC = VOC_{do-nothing} - VOC_{alt_i} \tag{5}$$

$$\text{여기서, } VOC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{kl} \times VT_k \times \text{평일일수})$$

$D_{kl}$  = 링크*l*의 차종별대 · km

$VT_k$  = 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용

$k$  = 차종(1: 승용차, 2: 버스, 3: 화물차)

이 외에도 사고비용, 환경오염비용 및 온실가스비용, 소음비용의 감소로 인한 편익도 위와 동일한 방법으로 산정하였다.

해당구간의 카풀 미도입 시 발생하는 비용을 산정하고 출·퇴근 시 카풀 도입에 따른 해당구간의 시간대별 카풀발생수요 감소분에 따른 통행속도를 활용하여 편익을 분석한 결과는 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Benefits of Carpool service

(Units : 100million KRW)

	Vehicle Driving Cost	Travel Time Cost	Accident Cost	Environmental Cost	Noise Cost	Total
Commute to work	83	93	4	82	-3	259
Commute from work	71	196	4	46	-11	306

출·퇴근 시 침두 3시간 동안의 카풀 도입에 따른 연간 편익을 산정한 결과, 출근 시 카풀을 도입할 경우 약 259억 원의 연간 편익이 산정되는 것으로 나타났으며 퇴근 시 카풀을 도입할 경우 연간 약 306억 원의

편익이 발생하는 것으로 나타났다. 퇴근 시 편익이 더 높은 것으로 나타난 이유는 카풀 도입으로 인한 퇴근 시의 구간 통행속도의 폭이 출근 시보다 더 크기 때문으로 판단된다. 한편 소음비용은 카풀을 도입할 경우 오히려 증가하는 것으로 나타났는데 이는 카풀 도입으로 인한 교통량의 감소로 해당구간의 통행속도가 증가함에 따라 소음에 영향을 미친 것으로 판단된다.

### Ⅲ. 결 론

본 연구에서는 혁신도시 지역으로 이전하였거나 이전예정인 공공기관들 중 기관의 기존 소재지에서 이전 소재지(현 소재지)로의 통행시간이 3시간 이내 거리에 위치하면서 이전예정인원 종사자수가 많은 상위 30개 기관을 선정하고 카풀이용수요를 예측하였다. 나아가 기관들의 이동경로에 해당하는 고속도로 구간별 교통류 모형을 정립하였으며 이를 바탕으로 출·퇴근 3시간동안에 카풀을 도입 할 경우 감소한 교통량과 이에 따른 속도자료를 활용하여 편익을 산정하였다.

선정된 30개 기관의 카풀이용수요를 추정하여 기관별 카풀이용수요를 산정한 다음 카풀 도입에 따른 교통수요의 변화에 대한 구간통행속도의 산출을 위해 VDS 통행 자료를 활용하여 각 기관들의 이동경로에 해당하는 고속도로 구간에 대한 최적 교통류 모형을 선정하였다.

나아가 편익분석은 카풀 이용자가 카풀을 이용함으로써 발생하는 직접편익과 기존 고속도로 구간을 이용하는 차량 운전자들이 카풀 이용으로 인해 상대적으로 개선된 환경에서 주행함으로써 생기는 간접편익으로 구분하여 분석을 수행하였다.

분석결과, 카풀 이용자들의 직접편익은 연간 약 230억 원의 편익이 발생하였으며 기존 도로 이용자들이 출근 시 카풀을 이용 할 경우 연간 약 259억 원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 퇴근 시의 경우 306억 원의 편익이 발생하는 것으로 나타나 향후 장래 교통수요관리를 위한 성공적인 카풀 도입을 위한 기초연구로 본 연구의 성과를 활용할 수 있을 것이라 기대된다.

다만 본 연구에서는 실제 이전공공기관 직원들의 거주지와 통행특성을 파악하는데 한계가 있어 카풀을 이용하는 직원들이 기존의 기관 주소지에서 이전 소재지로 이동한다고 가정하였으며, 이동시간이 3시간 이내인 기관들을 대상으로 분석하였다. 따라서 향후 설문조사 등을 통해 카풀 이용자들의 특성(출·퇴근 시간, 요일별 이용 빈도, 거주지역 등)과 지역적 특성(거리별 카풀 이용 수요, 빈도 등)이 고려되면 보다 신뢰성 높은 연구 결과가 도출 가능할 것이라 판단된다. 또한 본 연구에서는 편익의 객관성을 확보하기 위해 ‘교통시설 투자평가 지침’과 실제 카풀 서비스 앱을 기반으로 분석을 수행하였으나 카풀 서비스의 편익은 본 연구에서 선정한 항목보다 더 많이 존재하기 때문에 향후 다양한 편익 항목을 포함한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 교통시뮬레이션 S/W를 활용한 편익산정을 통해 카풀 도입 효과를 비교하는 연구도 필요할 것으로 판단된다.

### REFERENCES

- Amey A.(2011), “A proposed methodology for estimating rideshare viability within an organization, applied to the mit community,” *In TRB Annual Meeting Proceedings*, pp.1-16.
- Caulfield B.(2009), “Estimating the environmental benefits of ride-sharing: A case study of Dublin,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 14, no. 7, pp.527-531.
- Do M. S.(2016), “Development of Inter-company Carpool Service and Policy Initiatives,” *KSCE 2016*

*Convention, Korean Society of Civil Engineers, 234.*

- Do M. S. and Noh Y. S.(2013), "Site Selection of Carsharing Service by Spatial Analysis Method," *J. of Korean ITS*, vol. 12, no. 6, pp.22-28.
- Jang W. J., Park J. S. and Kim D. J.(2008), *A Study on Introducing Car-sharing Schemes*, The Korea Transport Institute, pp.1-166.
- Jung H. Y., Do M. S. and Kim S. Y.(2017), "Effect of Carpool Service in Public Institutions Transferring Innovation Cities By Cost-Benefit Analysis," *Proceedings of the KOR-KST Conference, Korean Society of Transportation, 32.*
- Jung Y. R. and Park Y. G.(2014), *Civil servant recognition survey on relocation of institution Sejong City*, Korea Institute of Public Administration, Seoul, South Korea.
- Katzev R.(2003), "Car sharing: A new approach to urban transportation problems," *Analyses of Social Issues and Public Policy*, vol. 3, no. 1, pp.65-86.
- Ko J. H. and Yu K. S.(2013), *In the Era of Shared Transport, What Can We Share?*, The Seoul Institute, Seoul, South Korea.
- Korea Transport Database, <http://www.ktdb.go.kr>. 2017.09.14.
- Kwon Y. J., Kang S. H., Go S. R. and Yoon M. S.(2014), *A Study on the Improvement and Support System of Innovative Urban Transportation Infrastructure*, The Korea Transport Institute, Sejong, South Korea.
- Lee J. Y., Choe G. J. and Jeong U. H.(2007), "Car-sharing in Overseas and Introduction to Korea," *J. of Korean Society of Transportation, 57, Korean Society of Transportation*, pp.180-187.
- Masabumi F., Maged D., Fernando O., Marc-Etienne B., Xiaoping W., Sven K.(2013), "Ridesharing: The state-of-the-art and future directions," *Transportation Research Part B: Methodological, 57*, pp.28-46.
- Ministry of Land Infrastructure and Transport, <http://innocity.molt.go.kr>. 2017.02.26.
- Ministry of Land Infrastructure and Transport(2013), *Traffic Infrastructure Assessment Guidelines*.
- Ministry of Land Infrastructure and Transport(2016), *Statistical Yearbook of Road Traffic Counts, 2015*.
- Park J. S. and Moon J. H.(2013), "Demand Estimation and Impact Analysis of Car-Sharing Service," *Journal of Transport Research*, vol. 20, no. 2, pp.59-75.
- Statistics Korea, <http://kostat.go.kr>. 2017.09.13.
- Stiglic M., Agatz N., Savelsbergh M., Gradisar M.(2016), "Making dynamic ride-sharing work: The impact of driver and rider flexibility," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 91*, pp.190-207.
- Yoon B. U., Rhee J. T. and Kim J. T.(2010), "A methodology of analyzing effects of an environmentally friendly transportation service: The case of carsharing service," *IE interfaces*, vol. 23, no. 4, pp.286-299.