

# 활동기반 교통수요 모델링을 위한 투어기반 통행분석 및 보정방안

## Tour-based Personalized Trip Analysis and Calibration Method for Activity-based Traffic Demand Modelling

유 예 지\* · 강 희 찬\*\* · 유 승 모\*\*\* · 오 태 호\*\*\*\*

\* 주저자 : 한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 연구원  
 \*\* 공저자 : 한국교통안전공단 모빌리티플랫폼처 연구위원  
 \*\*\* 공저자 : 연세대학교 기술정책대학원 과정  
 \*\*\*\* 교신저자 : 한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 연구원

Yegi Yoo\* · Heechan Kang\*\* · Seungmo Yoo\*\*\* · Taeho Oh\*\*†

\* Dept. of Cho Chun Shik Graduate School of Mobility., KAIST  
 \*\* Mobility Research Department, Korea Transportation Safety Authority  
 \*\*\* Graduate Program in Technology Policy, Yonsei University

† Corresponding author : Taeho Oh, taeho.oh@kaist.ac.kr

Vol. 22 No.6(2023)  
December, 2023  
pp.32~48

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.6.32>

Received 23 October 2023  
Revised 31 October 2023  
Accepted 22 November 2023

© 2023. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

자율주행기술의 발달은 점차 개인화된 통행을 유도하며, 자율주행차량으로의 전환으로 인한 도로운영 측면에서 교통 영향력은 개인차량을 이용한 수요에 의해 가장 큰 영향력을 받는다. 따라서, 교통 영향력 검토를 위해서는 개인통행특성 이해를 기반한 통행발생량 산정이 필요하다. 개인 통행특성 반영이 가능한 Activity-based model(ABM)은 개인의 모든 이동을 다루므로 통행과 통행 사이의 관계에 대한 이해가 선행되어야 한다. 하지만, ABM은 실제 수요예측에서 데이터 구축문제와 같이 많은 한계점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 가구통행실태조사자료를 기반으로 통행간 관계를 설명할 수 있는 Tour-based 모형을 활용하였다. 또한, 샘플조사 자료의 전수화를 위해 차량등록대수 및 인구수 데이터를 활용하여 개인차량발생량 보정방안을 제시하였다. 통행발생량 분석결과, KTDB와 비교하였을 때 본 연구에서 전체통행발생량은 약 13% 높았으며, 업무통행의 경우 약 9% 차이로 합리적인 오차수준으로 분석되었다. 결과적으로 본 연구의 궁극적인 목표인 도로운영 측면의 자율주행차량 도입에 따른 수요예측을 위해 Activity-based 모형 구축에 앞서 개인통행특성을 반영할 수 있는 Tour를 기반으로 발생량 보정방안으로 활용될 수 있다.

핵심어 : 활동기반모델, 투어기반모형, 교통수요 보정, 가구통행실태조사, 차량등록대수

### ABSTRACT

Autonomous driving technology is shaping the future of personalized travel, encouraging personalized travel, and traffic impact could be influenced by individualized travel behavior during the transition of driving entity from human to machine. In order to evaluate traffic impact, it is necessary to estimate the total number of trips based on an understanding of individual travel characteristics. The Activity-based model(ABM), which allows for the reflection of individual travel characteristics, deals with all travel sequences of an individual. Understanding the relationship

between travel and travel must be important for assessing traffic impact using ABM. However, the ABM has a limitation in the data hunger model. It is difficult to adjust in the actual demand forecasting. Therefore, we utilized a Tour-based model that can explain the relationship between travels based on household travel survey data instead. After that, vehicle registration and population data were used for correction. The result showed that, compared to the KTDB one, the traffic generation exhibited a 13% increase in total trips and approximately 9% reduction in working trips, valid within an acceptable margin of error. As a result, it can be used as a generation correction method based on Tour, which can reflect individual travel characteristics, prior to building an activity-based model to predict demand due to the introduction of autonomous vehicles in terms of road operation, which is the ultimate goal of this study.

Key words : Activity-based model, Tour-based model, Traffic demand calibration, Household survey, Vehicle registration number

## I. 서 론

### 1. 개요

자율주행기술의 발달은 일반 시민들에게 이동의 편의성, 높은 안전성, 교통체증 완화와 같은 긍정적인 효과를 나타낼 것으로 기대된다 (Fagnant and Kockelman, 2015). 이러한 영향은 교통계획 전문가 측면에서는 기존의 도로교통특성을 변화시키는 자율주행차량에 대한 특성을 고려한 수요예측의 어려움을 제시한다. 게다가 자율주행차량의 시장 보급률이 변화되는 상황에서, 이 차량으로 인한 교통수요 측면의 영향이 명확하지 않으므로 연구가 필요한 실정이다 (Gallo, 2023).

자율주행차량은 운전이 아닌 탑승의 개념으로 이동시간 동안 업무 및 여가시간을 갖는 등의 운전 외 생산적인 활동을 가능하게 한다. 따라서, 교통 측면에서는 본질적으로 대중교통의 속성과 유사하다고 볼 수 있다 (Stocker and Shaheen, 2018). 다만, 일반 대중교통보다 개인화된 통행특성으로 간주할 수 있다. 따라서, 자율주행차량으로 인해 개인화된 통행특성의 영향력을 분석하기 위한 교통 수요는 개개인의 통행행태에 대한 이해없이 정확한 예측 및 계획을 하기란 어렵다 (Haboucha et al., 2017).

Activity-based 모형은 개인의 통행특성을 반영하기 위한 수요추정기법으로 주목받고 있다 (Pinjari and Bhat, 2011). Activity-based 모형은 기존 전통적인 수요추정 4단계 모형에서 사용하는 Trip-based 대신 개인의 Activity를 활용한다. Trip-based 방식은 1일의 교통수요를 빠르게 분석할 수 있는 장점이 있으나, 각 Trip의 발생시간 및 방향성을 고려하지 않아 개인통행특성을 고려하는데는 한계가 있다. 반면, Activity는 하루 24시간 동안 개인의 통행시작시간, 통행목적, 그리고 체류시간 등을 고려한다. 따라서, 개인이 언제, 어디서, 어떤 목적으로 통행했는지 상세한 분석이 가능하여 개인행태를 반영할 수 있다 (Västberg et al., 2020). 또한, 개인 통행특성 분석을 통해 자율주행차량을 이용하는 개인의 통행을 고려할 수 있다 (Yu et al., 2022). Activity-based 모델은 다양한 데이터 수집의 가능성과 더불어 컴퓨터 계산능력 성능의 증가로 장점이 극대화되고 있으나, 개인 통행기록 사용을 통한 개인정보 이슈로 인해 데이터 구득 시 어려움이 있을 수 있다.

따라서, 본 연구에서는, Activity-based 방식의 장점을 유지하며 통행발생 및 분포를 생성하기 위해 Tour-based 방식을 적용하고자 한다. Tour-based 방식은 개인이 아닌 가구(Household) 단위를 기반으로 가구구성원 각각의 통행행태를 고려하여, 개인의 통행특성을 최대한 반영한다 (Cirillo and Axhausen, 2002). 또한, 가구구성원 개인의 Trip을 chain의 형태로 통행시작시간, 통행목적, 통행순서 등의 통행정보를 묶어 연속적인

통행특성을 반영할 수 있다 (Hasnine and Habib, 2018). 개인의 통행기록 데이터를 대체하여 국가 통계데이터 중 가구통행실태조사를 활용하여 가구의 통행특성을 충분히 고려할 수 있으므로 데이터를 획득하는데 매우 용이한 장점이 있다. 하지만, Tour-based의 한계점은 전체 인구 중 일부만 샘플링하는 가구통행실태조사 데이터를 사용하여 전체 통행인구에 대한 통행량 예측오류가 발생하므로 실제 수요추정 시 보정이 필수적이다.

운영측면의 교통수요 예측 시 도로혼잡도 평가를 위한 중요한 요소는 개인차량의 통행량이다. 이를 위해 현실적인 차량 통행량을 분석할 때 통행 가능한 인구에 대한 고려가 필요하다. 통행인구를 고려하기 위해서는 인구조사 및 차량등록대수를 활용할 수 있다. 하지만, 인구데이터는 차량이용 비율에 대한 예측이 불가능하므로, 보다 현실적인 차량통행량을 고려하기 위해 차량등록대수를 활용한 보정방안에 대한 연구가 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 1) 자율주행차량 수요예측 시 개별통행특성을 고려하는 Activity-based 모형을 활용하기 위해 집계데이터를 활용하는 Tour-based 방식을 기초모형으로 사용하며, 2) 교통운영측면의 현실적인 수요추정을 위해 차량등록대수 데이터를 활용한 보정방안을 제시하고자 한다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 4단계 수요 추정 모형

교통수요예측에 일반적인 방법으로, 4단계(통행발생, 통행분포, 수단선택, 노선배정)로 나누어 교통수요를 추정하는 기법이다. 인구, 일자리, 가구 수 등을 고려하여 전체통행량을 추정한다. 앞서 추정된 발생통행량을 성장인자모형, 중력모형, 간섭기회 모형, 엔트로피 극대화 모형 등을 활용하여 분배한다. 분배된 통행은 다양한 교통수단(자동차 대중교통, 도보 등)의 영향요인(비용, 시간, 편의성 등)을 고려하여 가장 효율적인 수단을 선택하고 도로 네트워크의 혼잡도, 도로의 비용, 거리 등을 고려하여 어떤 경로로 이동할지 통행량을 배정한다. 각 단계별 입출력 자료를 기반으로 파라미터를 고려한 4단계 수요추정모형은 현실성 있는 장래 통행패턴을 고려할 수 있는 장점이 있다 (Lim and Kim, 2006). 이는 일반적인 지역에 적용하기 쉽고 장래 개발 계획에 따라 수요를 예측하기에 용이하다 (McFadden, 1974). 최근에는 교통흐름 및 신규 모빌리티의 영향을 고려하기 위해 자율주행차량을 적용하는 추세이다 (Dias et al., 2020). 하지만, 4단계 수요추정모형은 모형의 각각의 통행의 최소단위인 Trip을 기반으로 하며, 높은 수준으로 집계된 데이터를 기반으로 사용하기 때문에 데이터 수집이 어려워 통행 발생시간 및 각 여행의 방향성을 알기 어렵고, 개별통행이 전체 통행과 연관되어 있다는 것을 고려하지 못하는 치명적인 단점이 있다 (Festa et al., 2006).

### 2. Activity-based 모형

Activity-based 모형은 외부 활동이 일 단위의 활동 스케줄에 의해 시간과 장소, 교통수단 등을 결정하며, 이러한 활동을 수행하기 위해 파생되는 공간이동의 통행을 분석하는데 중점을 둔다 (Guo et al., 2023).

각 통행은 구체적인 출발시간을 가지고 개인의 통행행태를 기반으로 모델링 되므로 개별의 통행행태를 상세히 반영할 수 있다 (Shiftan and Ben-Akiva, 2011). 또한, 하루 이상의 데이터를 사용하여 활동 및 행동 패턴에 중점을 두기 때문에 이 접근 방식은 장 단기적인 정책 문제와 활동-여행 패턴에 미치는 영향을 다룰 수 있다 (Bhat and Koppelman, 1999). 개인의 행동을 명확하게 정의할 수 있는 활동기반 모형을 장점에 기반하여

철도역사 수요예측 (Lim et al., 2013; Eom, 2007), 고령인구의 통행특성 및 행태 (Seo et al., 2006)등의 연구가 수행되었다. 그러나, Activity-based 모형은 개인의 수입, 대중교통 접근성, 가구당 차량 수 등과 같은 요소에 따라 수많은 데이터를 수집해야 한다. 개인의 정보를 정확히 수집하는 것은 이론적으로는 가능할 수 있지만, 실질적으로 불가능하다. 이로 인해 세분화가 증가하게 되면 모델의 실행시간, 저장 공간 및 메모리 성능을 요구한다 (Castiglioni et al., 2015). 또한, Activity-based 모형의 경우 표준화는 아직 미비한 실정으로 다양한 접근방면으로 연구가 진행되고 있다 (Davidson et al., 2007). Recker(2001)는 Activity-based 모델의 신뢰성을 높이기 위해서 기존 통행 모델링과 활동기반 모델을 통합하기 위한 방법론을 제공한다. 이러한 방법론 간 연계를 위해서는 Activity-based 모델링 측면에서 Tour 내의 모든 여행을 다루고 여행 간의 관계를 이해하는 것이 필수적이다. 따라서, Tour-based 모형은 Activity-based 모델링을 구현하기 위한 핵심적인 모델이다 (Hasnine and Nurul Habib, 2021).

Tour-based 모델은 개별 가구나 개인의 여행패턴을 기반으로 교통 수요를 예측하는 방법으로 가구 구성원 각각의 여행을 개별적으로 모델링하고, 여러 통행을 하나의 묶음으로 그룹화하여 통행을 예측한다. 이는 관련된 특성을 중심으로 출도착지를 한 쌍으로 분석하며, 통행에는 목적(일, 쇼핑, 여가 등)을 가지고 있다고 판단한다. 이동 목적을 이루기 위해 다른 장소로 이동하는 것을 중심으로 예측한다. 통행 발생의 순서와 통행 간의 관계성 및 방향성을 알 수 있으나, 가구통행을 기반으로 하루 일과 중 집을 방문하는 경우 분리된 Activity로 고려되는 단점이 있다. 그러나 통행 간 관계성을 더 자세히 기록할 수 있는 측면에서 기존의 전통적인 4단계 모델링보다 합리적인 대안이라고 평가되어 진다 (Ferdous et al., 2011; Rossi and Shiftan, 1997). 따라서, Tour-based 모형은 가구기반 스케줄을 활용하여 시뮬레이션 내에서 각 여행에 대해 선택되고 실행 가능하여 Activity-based 모형의 일부 부분으로 사용되고 있다 (Miller et al., 2005).

개인화된 통행을 고려할 수 있는 Tour-based 모형은 인구그룹에 대한 정의가 먼저 이루어져야 한다. Tour-based 모형을 활용하기 위해 인구그룹은 직장 유무, 학생, 노인 인구로 분류하고 있으며 (AG, 2000), 분석 범위 및 목적에 따라 인구그룹을 재정의하여 활용한다. 특히, Vishnu and Srinivasan(2013)는 출근시간의 혼잡에 대한 평가를 위해 인구그룹을 직장인들로 한정된 예측모형 개발연구를 수행하였으며, Hamad and Obaid(2022)는 대학 캠퍼스 내 교통문제를 해결하기 위한 교내출입 인구를 그룹화(학생, 전임교원, 직원, 방문객)하여 대학캠퍼스에 집중된 여행수요 예측모델 개발을 수행하였다. 이와 같이, 운영측면에서의 수요예측은 인구그룹 정의에 따른 통행발생량 예측이 가능하다. 일반적으로 통행발생량은 주로 개인교통수단에 영향을 받으며, 통행배정 시에는 개인교통수단의 발생량을 기반으로 제한된 도로용량 내 모든 경로의 통행시간이 균등하게 배분되도록 한다. 따라서, 주요 영향요인인 일반차량을 도로 이용수요 발생량으로 활용할 수 있다 (Vishnu and Srinivasan, 2013). 따라서, 본 연구에서는 교통수요의 정확성 및 현실성을 높이기 위해 활동기반의 수요예측에 영향을 주는 개인교통수단 통행발생량을 활용하여, 운영측면의 도로이용수요를 예측하여, 기존 한정되었던 직업군 및 지역을 넘어, 향후 Activity-based model의 도로운영 측면의 통행배정을 위한 초기 단계의 통행발생량 예측방안을 제안한다는 것에 차별점이 있다.

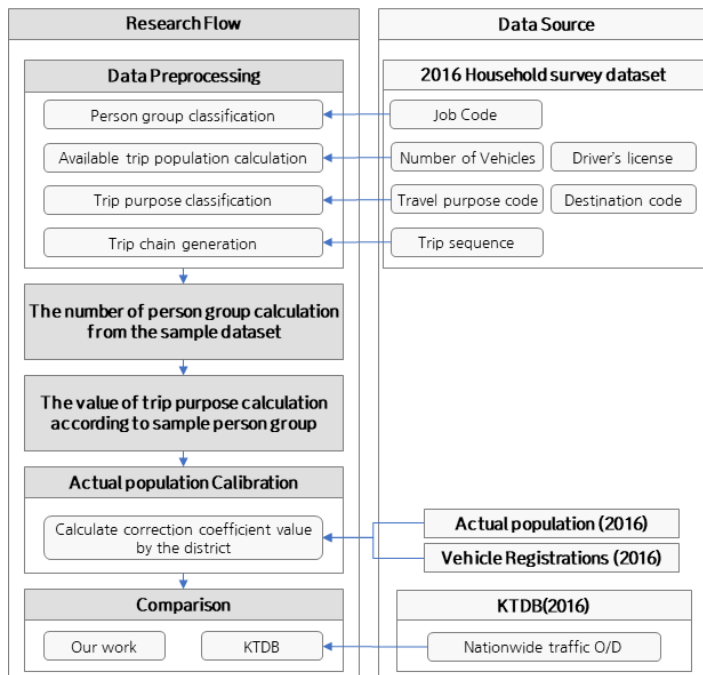
### III. 방법론

본 연구에서는 자율주행차량의 등장으로 인해 점차 개인화될 교통수요를 반영하기 위한 Activity-based 모형 방법론을 선정하고자 하였으나, 개인의 활동 데이터는 하루 통행을 시간대별로 상세히 기록되므로 개인 정보 등 민감한 정보를 활용하는데 어려움이 있었다. 따라서, 국가에서 전국적으로 시행하여 데이터 구득의

용이성 및 신뢰성 있는 조사자료인 가구통행실태 조사자료를 활용하였다. 이는 별도의 데이터 비식별화 과정을 수행할 필요가 없어 데이터 분석 시 용이한 장점이 있다. 이 자료를 기반으로 가구 구성원의 개인통행 패턴을 Tour형태로 정의하였으며, 통행패턴 및 분포분석에 활용하였다. 하지만, 가구통행실태 조사자료는 표본조사로 절대적인 실제 인구수를 반영하지 못하는 명확한 한계가 있다. 본 연구에서는 개인교통수단을 이용한 통행발생량 산정을 위해 차량등록대수를 통행가능인구로 설정하여 전체통행량 분석 및 예측을 위한 보정을 수행하였다. 또한, 본 연구에서 제시하고 있는 방법론이 기존 통행수요예측방법을 이용한 발생량과의 비교분석을 위해 한국교통연구원에서 배포하고 있는 전국단위 KTDB 자료를 활용하였다.

본 방법론의 적용 및 분석을 위한 공간적 범위는 5대 광역시 중 하나로 약 150만의 인구 규모인 대전광역시로 선정하였으며, 시간적 범위는 개인화된 통행을 정의하기 위한 자료인 최신 가구통행실태 조사자료 시점을 기준으로 하였다. 논문작성 시점 가장 최근에 공시되어 있는 가구통행실태조사는 2016년에 배포된 자료이므로, 본 연구의 활용된 데이터의 모든 시간적범위는 2016년으로 하였다.

본 연구의 수행과정 및 활용데이터는 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Research flowchart

## 1. 데이터 전처리

### 1) 가구통행실태조사자료

가구통행실태조사는 국가교통데이터 구축을 위해서 매 5년 주기로 통행데이터와 가구별 가구원수에 대한 인구정보를 함께 수집한다. 이는 각종 국가교통계획 수립 및 분석을 하기 위한 기초자료로 활용된다.

본 연구에서는 개인의 통행행태를 반영할 수 있는 정보(통행자 및 통행목적)를 다음 <Table 1>과 같이 추출하여 통행발생 및 분포 산정을 위해 활용하였다.

<Table 1> List of survey items used for analysis

Category	Features	Category	Features
Household Member Information	IDX	Purpose of Travel	Initial Departure Type
	Region		Initial Departure Administrative District Code
	District Code		Purpose Travel Sequence
	Vehicle Type 1		Travel Purpose
	Vehicle Model Year		Purpose Travel_Departure Time (AM/PM)
	Vehicle Type 2		Purpose Travel_Departure Time (Hour)
	Vehicle Model Year		Purpose Travel_Departure Time (Minute)
	Household Relationship		Mode of Transportation for Travel
	Birth Year		Arrival Time for Travel (AM/PM)
	Driver's License		Arrival Time for Travel (Hour)
	Regular Educational Institution		Arrival Time for Travel (Minute)
	Occupation		Purpose Travel Arrival Location Type
			Purpose Travel Arrival District Code

2) 직업기반 인구그룹 분류

본 연구에서는 가구통행실태조사의 통행자 정보기반으로 인구그룹을 직장인(E), 비직장인(NE), 대학생(U), 초중고교생(S), 기타(O) 총 5개로 분류하였다. 가구통행실태 조사자료에서는 취업유무 및 학생유무에 따라 인구특성을 구분하며, 동일한 인구특성은 일정한 통행패턴을 보이므로 다음 <Table 2>와 같이 인구그룹에 따른 직업코드를 분류하였다. 예를 들어, 직장인의 경우 출퇴근이라는 일정한 통행패턴을 발생하므로, 직장 유무에 따라 인구를 그룹화하였다.

<Table 2> Example of classification of job codes

Category	Job code
Professionals and Related Workers (Including Teachers, Entertainers, Religious Workers)	E
Service Workers (Including Firefighters, Police Officers/ Sales Workers (Including Salespeople)	E
Managers and Office Workers (Including Government Officials)	E
Skilled Agricultural / Forestry Workers / Technicians / Machine Operators/ Unskilled Laborers	E
Homemaker, Unemployed	NE
Students(under 20 years old) / University Students(over 20 years old)	S/U
Other (Including soldiers, etc.)	O

3) 가구 내 개인교통수단 기반 통행인구 추정

개인교통수단을 이용하는 인구그룹(+C)을 구분하기 위해 각 가구별 총 차량보유대수를 산정하였다. 차량 유무에 따라 개인의 활동 범위가 크게 달라지므로 개인교통수단을 이용하는 인구그룹을 구분은 필수적이다. 가구 내 자동차 대수를 기준으로 가구 내 운전면허를 소유한 가구원 중에서 가구원 코드 순(가구주, 배우자, 자녀 등)에 맞게 할당하였다.

예시 1) 한 가구에 3명의 가구원(본인, 배우자, 자녀)이 있으며, 총 2대의 차량이 있고 가구원 모두 운전면

허를 보유하고 있는 경우, 본인 및 배우자가 개인교통수단 이용 인구그룹(+C)으로 분류

예시 2) 한 가구에 3명의 가구원(본인, 배우자, 자녀)이 있으며, 총 2대의 차량이 있고 본인 및 자녀만 운전 면허가 있는 경우, 배우자를 제외한 본인 및 자녀가 개인교통수단 이용 인구그룹(+C)으로 분류

한 가구에서 운전면허가 있는 가구원수보다 차량보유대수가 더 많은 경우는 다음 <Table 3>과 같이 총 5,156개의 가구 중 3가구에서 3건(1명의 가구원이 2대의 차량 보유(2건), 2명의 가구원이 3대의 차량 보유(1건))으로 분석되었다. 본 연구에서는 차량보유대수가 운전 가능 가구원 수보다 많은 경우 가구원 수를 기준으로 하여 통행가능인구를 고려하였다.

<Table 3> Number of vehicles according to the number of household members

Number of household members \ Number of vehicles	1	2	3	4	5	6	7	9
0	738	321	71	24	2	0	0	0
1	468	778	831	820	89	3	1	0
2	2	101	263	492	77	4	1	0
3	0	1	15	40	8	2	0	0
4	0	0	0	3	0	0	0	1

#### 4) 통행목적 분류

통행목적에 맞게 통행목적 코드를 Personal(P), Work(W), Home(H), School(S), University(U), Education(E), shOpping(O), Recreation(R) 총 8개 항목으로 다음 <Table 4>와 같이 구분하였다.

<Table 4> Example of classification of travel purpose

Category	Structural property	Activity code
Returning Home	Home	H
Commuting to Work / Work-Related Activities / Returning to Work After Business Hours	Work	W
Going to School	School / University	S / U
Attending Private Tutoring or Extra Classes	Education	E
Shopping	shOpping	O
Leisure / Exercise / Tourism/Recreation / Dining In and Out / Visiting Relatives	Recreation	R
Other (For unspecified or unique activities)	Personal	P

#### 5) Tour기반 샘플데이터의 통행발생 및 분포분석

본 연구에서 활용한 통행체인(trip-chain)을 ‘가정기반 통행으로 한 사람이 하루동안 발생시킨 모든 통행을 서로 연계한 일련의 통행행태’로 정의하였다. 예를 들어, 오전에 출근하여 회사에 있다가 점심을 먹기위해 집 방문 후 다시 회사에 오는 경우, 하루에 발생하는 통행을 가정기반으로 분류하므로 H-W-H로 이루어진 통행체인을 2번 발생시킨다. 본 연구에서 정의하고 있는 통행체인은 인구그룹별 활동 체인을 가구통행실태 조사의 개별통행 조합을 바탕으로 계산한다. 가구통행실태 조사의 개인에 대한 일상에서의 통행시간, 목적, 수단을 이용하여 매일의 각 활동 체인 확률을 계산한다. 이 과정에서 한 사람이 하루에 한 개 이상의 통행

체인을 발생시킬 수 있으므로 체인 확률에 대해 개인 그룹의 확률의 합은 종종 1을 넘을 수도 있다. 만약 자동차를 보유한 직원(E+C) 2,000명이 zone 1에 거주한다고 한다면 아래와 같이 총통행이 계산된다. HWOH의 통행체인이 4.67%의 확률로 하루에 통행을 생성해낸다면  $2,000 \times 4.67\% = 93.4$ 통행이 된다.

## 2. 전체통행량 추정을 위한 보정방안

### 1) 차량등록대수를 활용한 개인차량기반의 통행인구보정

도로 운영측면의 수요분석은 정해진 도로용량을 고려하여 출도착지 간 통행시간을 최소화하는 통행경로를 배정한다. 따라서, 한정된 도로용량에 영향을 주는 가장 큰 요인으로는 개인차량을 활용하는 여객수요를 고려할 수 있다. 이러한 관점에서, 본 연구에서 분류한 인구그룹 중 개인교통수단을 이용하는 인구그룹(+C)의 전체 통행인구는 차량등록대수로 가정함으로써, 도로 네트워크에 주요한 영향을 주는 최대 차량대수를 정의할 수 있으며, 이를 최대 통행인구로 판단할 수 있다. 최대 통행가능차량대수(인구수)를 정의함으로써, 도로이용 수요예측 분석 시 차량에 대한 통행수요를 보다 직접적으로 관찰할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 운영측면의 수요분석 시 차량등록대수를 활용하여 전체 통행가능인구를 보정한다.

### 2) 실제 통행인구 보정

샘플 데이터에서 전체 인구의 통행발생량 보정을 위해, 개인교통수단을 이용하는 인구그룹(+C)은 총 차량등록대수를 +C인구 그룹의 총 숫자로 하며, 개인교통을 이용하지 않는 인구그룹(-C)은 인구수에서 차량등록대수(+C 인구그룹)를 제외한 수로 고려하였다. 또한, 상이한 지역별 인구그룹 수 및 통행특성을 고려하기 위해, 지역별 보정계수 산정이 필요하며, 이를 위해서는 동별 인구수 및 동별 자동차등록대수 통계자료가 필요하다. 하지만, 현재 인구수는 행정동 단위의 인구통계자료가 공시되어있으나, 2016년의 자동차 등록대수는 최소 구 단위의 통계자료를 공개하고 있어 동일한 구 내의 동별 인구수 비율에 구 내 총 자동차 등록대수를 배분하여 +C 및 -C 인구그룹이 구분된 보정계수를 산정하였다.

## IV. 결 과

### 1. 가구통행실태조사자료 기반 통행발생 및 분포분석결과

#### 1) 샘플데이터 내 인구그룹 분류 결과

가구통행실태조사 데이터 내 샘플인구를 산정하고 각 인구그룹별 비율을 산정하여 각 지역별 인구그룹 분포를 확인하였다. 인구그룹 분포는 <Table 5>와 같이 직장인, 기타, 비직장인, 초중고교생, 대학생 순으로 나타났다. 샘플의 개인교통수단 통행 인구(+C) 비율은 약 38%를 차지하는 것으로 분석되었다.

<Table 5> Sample population by the groups

unit: person, %

Category	E+C	E-C	NE+C	NE-C	O+C	O-C	S-C	U+C	U-C	Total
number of sample population	5,091	2,812	472	2,066	535	2,116	2,096	86	1,033	16,307
rate (%)	31.22	17.24	2.89	12.67	3.28	12.98	12.85	0.53	6.33	100



2) 인구그룹 및 목적별 통행발생량 분석결과

인구그룹 및 목적에 따른 통행발생량 분석결과, <Table 6>에서 볼 수 있듯이 차량유무에 관계없이 직장인 (E)그룹의 통행은 출근이 필수적이기 때문에 집(H) 또는 직장(W)으로 이동하는 통행이 총 통행의 대다수를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 직장인과 유사하게 학생그룹(S-C, U+C, U-C)은, 학교(S, U)와 집 간의 통행이 가장 빈도가 높은 것으로 분석되었다.

NE-C그룹 및 O-C그룹을 제외한 그룹에서는 모두 하루 두 통행 이상 발생시키는 것으로 분석되었다. 이는 일반적으로 일상생활에서 집-직장-여가-집과 같은 다양한 목적통행을 달성하기 위해 두 가지 이상의 통행 (H-W, W-R, R-H, 3통행)이 발생한다는 것을 의미한다. 직장이 있는 경우, 출퇴근으로 인한 통행이 고정적으로 발생할 가능성이 높아 그렇지 않은 경우보다 많은 통행을 유발한다. 또한, 출퇴근의 경우 시간제약 때문에 대중교통수단을 선택하는 경우보다 개인 자동차를 이용하는 경향이 더 많은 것으로 나타났다.

<Table 6> Traffic volume by travel purpose according to population group

unit: trip

Purpose of trip	E+C	E-C	NE+C	NE-C	O+C	O-C	S-C	U+C	U-C
No Trip	33	33	66	395	70	499	1	2	21
H (Home)	5,363	2,876	452	1,764	501	1,681	2,424	89	1,052
W (Work)	6,003	3,004	-	-	77	29	-	-	-
R (Recreation)	1,123	384	200	694	262	826	58	23	272
P (Personal)	319	158	205	681	170	735	23	14	104
O (shOpping)	256	167	203	666	70	246	18	6	66
E (Education)	5	1	2	6	6	49	878	-	17
U (University)	-	-	-	-	-	-	-	87	1,070
S (School)	-	-	-	-	-	-	2,098	-	-
Total Trip Volume	13,069	6,590	1,062	3,811	1,086	3,566	5,499	219	2,581
Trip per person	2.57	2.34	2.25	1.84	2.03	1.69	2.62	2.55	2.50

3) 인구그룹별 Tour 통행비율 분석결과

통행목적의 출발 시간대를 분석하여 Tour로 그룹한 결과 총 160개 유형의 통행체인이 분석되었으며, 이 중 인구그룹별 가장 많이 나타난 통행패턴은 4통행 이내로 과반수의 인구가 단순한 통행패턴을 나타내는 것으로 분석되었다. 직장이 있는 그룹에서는 HWH유형이 차량 여부에 관계없이 70% 이상으로 분석되었으며, 이는 출퇴근으로 인한 고정적인 통행일 가능성이 높다. 직장이 없는 그룹에서는 차량의 유무와 관계없이 HRH, HPH, HOH통행이 가장 많이 나타났다. 학생의 경우도 차량의 유무와 관계없이 HUH 통행이 60% 이상으로 단순한 통행행태를 보인다<Table 7>.

<Table 7> Results of travel ratio by travel chain according to population

Category	E+C	E-C	NE+C	NE-C	O+C	O-C	S-C	U+C	U-C
Total	1.0571	1.0254	0.9573	0.8565	0.9440	0.7961	1.1586	1.0348	1.0225
HWH	0.7203	0.7802	-	-	0.1103	0.009	-	-	-
HUH	-	-	-	-	-	-	-	0.6279	0.6428
HRH	0.0367	0.0217	0.1864	0.2401	0.3757	0.3275	0.0143	0.0116	0.0174

Category	E+C	E-C	NE+C	NE-C	O+C	O-C	S-C	U+C	U-C
HPH	0.013	0.0149	0.2225	0.2367	0.2262	0.2755	0.0024	0.0349	0.0155
HOH	0.0181	0.0156	0.286	0.2507	0.0953	0.0832	0.0038	0.0116	0.0145
HSH	-	-	-	-	-	-	0.7042	-	-
HURH	-	-	-	-	-	-	-	0.1512	0.1162
HSEH	-	-	-	-	-	-	0.2634	-	-
HEH	0.0002	0.0004	0.0042	0.0024	0.0093	0.0147	0.135	-	0.0048
HWRWH	0.0748	0.0487	-	-	0.0056	0.0005	-	-	-
HUPH	-	-	-	-	-	-	-	0.0698	0.0532
HWRH	0.0658	0.0423	-	-	-	-	-	-	-
HPOH	0.0002	0.0025	0.0318	0.0271	0.0093	0.0132	-	0.0116	-
HPRH	0.0006	0.0007	0.0318	0.0169	0.0224	0.0203	-	-	0.0019
∴									

## 2. 대전시 인구통행 특성분석

### 1) 인구그룹 별 통행거리분석

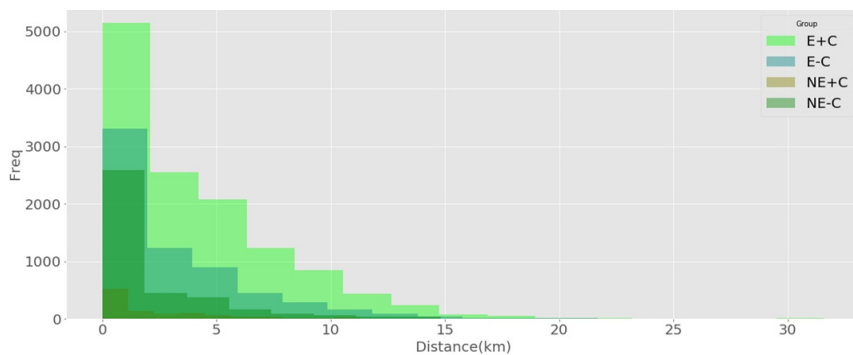
NE그룹을 제외한 인구그룹 중 개인교통수단을 이용하는 인구는 평균통행거리가 최대 약 3km 정도 더 길게 다니는 것으로 분석되었다<Table 8>. 대학생의 경우 대학 선택 시 거리보다 중요한 요인(예: 대학순위, 전공과의 유무 등)을 가지고 있어 평균통행거리가 가장 긴 것으로 분석되었다. 이와 대조적으로 주거지역과 가까운 지역에 다수의 학교가 분포하여 거리가 중요한 초중고교생의 평균통행거리가 가장 낮게 분석되었다.

인구그룹별 통행거리 Histogram 분석결과, 대부분의 통행은 약 5km 이내에서 이루어지는 것으로 나타나며, E 그룹은 NE그룹보다, +C그룹은 -C 그룹보다 먼거리의 통행의 빈도가 더 많은 것으로 분석되었다<Fig. 2>.

모든 인구그룹에서 거리가 멀어짐에 따라 통행수도 일률적으로 감소하였다. 이는 두 그룹 모두 거리에 따라 통행 발생가능성에 대한 민감도가 크다는 것을 의미한다.

<Table 8> Analysis of average travel distance by population group

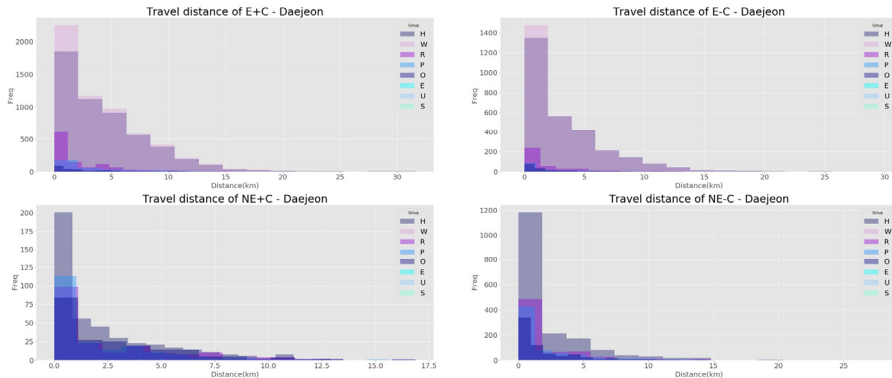
Groups	E+C	E-C	NE+C	NE-C	O+C	O-C	S-C	U+C	U-C
Distance(km)	3.92	2.80	2.41	1.76	3.33	1.37	1.23	5.23	4.27



<Fig. 2> Histogram of average travel distance analysis by population group

2) 인구그룹 별 통행목적 별 통행거리 분석

대부분의 통행은 약 5km 이내에서 이루어지지만, 차량소유 여부와 관계없이 10km 이상인 거리에도 통행이 발생되었다<Fig. 3>. -C그룹은 거리가 멀어질수록 통행발생 빈도가 +C그룹보다 급격하게 낮아지고 단거리 통행에 집중되어있는 것으로 분석되었다. NE그룹의 경우 차 소유 여부에 크게 상관없이 대부분이 반경 5km 내에서 통행을 해결하는 것으로 분석되었다.



<Fig. 3> Histogram of travel distance analysis by travel purpose for E/NE group

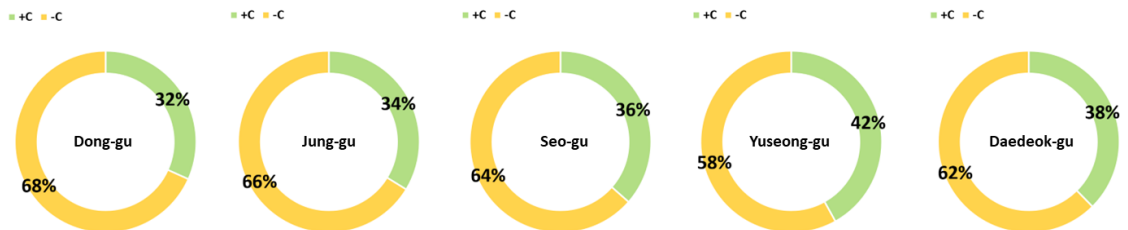
3. 전체통행량 보정결과

1) 차량등록대수를 활용한 개인차량통행 인구수 분석결과

2016년 9월 인구 및 자동차등록대수 자료를 기반으로 하여 자동차등록대수 만큼을 차량이 있는 통행인구 (+C)로 가정하였으며, 총 인구에서 자동차등록대수를 제외한 수를 개인교통수단을 이용할 수 없는 통행인구 (-C)로 가정하였다. 따라서, 대전시의 약 60만대의 차량등록대수는 곧 개인차량을 이용한 통행발생인구가 약 60만명 임을 의미한다<Table 9>. 각 구별 +C인구 그룹 비율은 유성구가 42%로 가장 높았으며, 동구와 중구에서는 인구 중 차량이 차지하는 비율이 40% 미만으로 분석되었다<Fig. 4>.

<Table 9> Status of population and registered cars by region

Category	Dong-gu	Jung-gu	Seo-gu	Yuseong-gu	Daedeok-gu	Total
Total Population	236,072	253,409	492,004	340,754	194,002	1,516,241
The number of registered vehicles (+C)	74,882	85,536	179,500	142,819	72,933	555,670
Others (-C)	161,190	167,873	312,504	197,935	121,069	960,571



<Fig. 4> +C, -C population ratio based on the provinces

2) 인구그룹별 구별 인구수 보정결과

각 인구그룹별 동별 통행빈도에 앞서 산정한 차량소유여부에 따른 지역별 보정계수를 곱하여, 각 구별 인구그룹에 따른 실제인구수 보정 시행결과는 <Table 10>과 같다. 차를 소유하고 있는 사람이 통행을 발생할 비율이 60%로 그렇지 않은 경우보다 높게 나타났다. 인구 유형을 나누었을 때 차를 소유하고 있는 직장인이 전체 통행의 약 33%를 차지하며 그 뒤로 차를 소유하고 있지 않은 직장인, 차를 소유하고 있지 않은 학생 순으로 높게 나타났다. 대전시의 차량통행인구는 서구, 유성구, 중구 동구 대덕구 순으로 나타났다.

<Table 10> Adjusted population by group

District	+C Group				-C Group					Total
	E+C	NE+C	O+C	U+C	E-C	NE-C	O-C	S-C	U-C	
Dong-gu	59,389	3,793	10,571	1,130	37,863	40,942	36,948	30,041	15,395	236,072
Jung-gu	73,547	6,071	5,226	692	54,264	30,491	32,644	34,884	15,590	253,409
Seo-gu	154,201	12,698	10,389	2,212	111,107	46,901	51,666	66,589	36,241	492,004
Yuseong-gu	113,925	15,169	10,216	3,509	42,257	38,683	40,365	51,087	25,543	340,754
Daedeok-gu	56,435	5,472	10,536	490	28,544	31,080	32,315	20,352	8,778	194,002
Total	457,497	43,203	46,938	8,033	274,035	188,097	193,938	202,953	101,547	1,516,241

3) 전체통행발생량 비교 분석결과

본 연구에서 제안한 Tour기반의 통행분석 및 차량등록대수를 활용한 보정방안의 효과성 검토를 위해서 한국교통연구원에서 수행하는 국가교통조사·DB시스템 (KTDB) 내 전국 여객 O/D 분석자료와의 비교 검증 절차를 수행하였다. KTDB에는 지역간 O/D 계산을 위해서 목적별 통행발생량을 제시하고 있다. 이때, 통행목적은 총 7개(출근, 등교, 업무, 쇼핑, 귀가, 여가, 기타)로 구분하고 있다. 하지만, 본 연구에서는 통행목적은 총 8개로 구분하여 KTDB와 상이한 분류체계에 대해서 동일한 특성을 갖는 목적별로 다음 <Table 11>과 같이 구분하였다. 보정된 인구 기반으로 전체 인구에 대한 목적별 통행량 산정을 위해 <Table 6>과 <Table 10>를 활용하였으며, 산정결과는 <Table 11>과 같다.

총 통행발생량 비교분석 결과, 본 연구에서 제안한 방법론 기반으로 발생된 예측량이 KTDB에서 제시하고 있는 발생량보다 약 13% 높은 것으로 분석되었다. 세부 통행목적별로 통행발생량을 분석한 결과, 업무 (Work) 관련통행을 포함하여 쇼핑(Shopping), 귀가(Home) 및 기타(Others) 통행은 차이값이 최소 8%에서 최대 15%의 오차가 발생하는 것으로 분석되었다. 하지만, 교육(Education) 관련 통행에서 많은 통행발생량이 발생되었으며 KTDB 대비 약 164% 과대 추정되는 것으로 분석되었다. 하지만, 2016년 대전광역시 내 위치한 유치원 및 초·중·고교생은 총 218,492명<sup>1)</sup>으로 학생들이 등교를 위해서 하루에 한번은 필수적으로 통행한다고 가정한다면, 본 연구에서 추정된 203,146통행은 상당히 합리적인 수준의 통행발생량으로 판단된다.

<Table 11> The comparison of trip generation results according to the trip purpose

Data	Work		Education		Shopping	Home	Recreation	Others		Total
	Commute	Business trip	School	University				Extra	Personal	
KTDB(2016)	736,843	187,801	120,087		143,622	1,313,431	251,567	339,422		3,092,772
Our work	841,612		203,146	113,311	155,975	1,508,649	353,024	92,980	220,867	3,489,564
Error	0.09		1.64		0.09	0.15	0.40	0.08		0.13

1) 2016년 대전교육 통계연보

보다 상세한 검토를 위해 구단위 통행발생량 분석을 <Table 12>와 같이 수행하였다. 분석결과, 출근(Work)을 위한 통행인구는 서구에서는 매우 유사한 수준으로 단 261통행만 차이가 있는 것으로 분석되었으나, 동구의 경우 약 28%정도 오차가 발생되었다. 교육(Education)의 경우, 초중고교생의 통행발생량이 고려되지 않아 본 연구의 방법론에 따라 분석된 결과가 더 많은 것으로 분석되었다. 여가(Recreation) 통행의 경우 중구에서 최대 약 78%의 추가 통행이 발생된 것으로 분석되었다. 하지만 기타통행의 경우에는 약 2%로 통행발생 오차가 매우 낮은 것을 확인할 수 있다.

각 구별 총 통행발생량 분석 시 전반적으로 통행발생량이 KTDB에서 제시하고 있는 것 보다 많은 발생량이 분석되었으며, 특히 중구 및 대덕구의 경우 약 22%의 통행발생량이 더 많이 분석되었다. 그에 반해 유성구의 경우는 통행발생량이 약 3%로 소폭 증가되는 것으로 분석되었다.

<Table 12> The comparison of trip generation results based on the provinces

Categories		Dong-gu	Jung-gu	Seo-gu	Yuseong-gu	Daedeok-gu	Total
Work	KTDB	156,809	130,863	302,986	229,012	104,973	924,644
	Our work	112,505	145,891	302,721	181,499	98,997	841,613
	Error	-0.28	0.11	0.00	-0.21	-0.06	-0.09
Education	KTDB	16,516	24,823	44,836	22,534	11,377	120,087
	Our work	47,159	51,765	106,430	81,143	29,959	316,457
	Error	1.86	1.09	1.37	2.60	1.63	1.64
Shopping	KTDB	23,461	24,125	35,725	41,061	19,250	143,622
	Our work	27,063	25,184	45,340	35,577	22,811	155,975
	Error	0.15	0.04	0.27	-0.13	0.18	0.09
Home	KTDB	165,393	213,361	460,118	317,538	157,019	1,313,431
	Our work	230,717	252,586	495,260	341,145	188,942	1,508,650
	Error	0.39	0.18	0.08	0.07	0.20	0.15
Recreation	KTDB	46,502	32,997	74,399	67,666	30,002	251,567
	Our work	58,418	57,006	107,555	80,160	49,885	353,024
	Error	0.26	0.73	0.45	0.18	0.66	0.40
Others	KTDB	48,021	50,367	117,256	90,181	33,596	339,422
	Our work	53,266	51,299	93,051	72,996	43,236	313,847
	Error	0.11	0.02	-0.21	-0.19	0.29	-0.08
Total	KTDB	456,702	476,538	1,035,320	767,993	356,218	3,092,772
	Our work	529,128	583,731	1,150,357	792,520	433,831	3,489,567
	Error	0.16	0.22	0.11	0.03	0.22	0.13

## V. 결 론

자율주행차량은 미래에 공유차량 및 대중교통으로 사용될 수 있다는 측면에서 개인의 일상에 밀접하게 영향을 미치며, 개인의 이동 측면에서 미치는 영향을 분석하는 것이 매우 중요해졌다. 자율주행차량의 등장은 취약계층(어린이, 노인, 장애인 등) 및 운전면허 미소지자와 같은 기존에 개인교통수단을 이용하기 어려

운 사람들의 이동 편의를 보장할 것이다. 이로 인해, 자율주행차량은 더욱 인간의 생활과 밀접하게 연계되어 개인의 여행패턴을 변화시킬 수 있다. 그러므로 개인화된 통행특성의 영향력 분석을 위해서는 개인의 통행행태에 대한 수준 높은 이해 및 데이터가 요구된다.

Activity-based 모델은 하루동안 한 사람에 대한 모든 통행시간, 목적, 체류시간 등 상세한 정보들을 기반으로 통행발생량 및 수요예측 시 활용된다. 하지만, 정밀한 통행데이터 수집은 비용, 시간, 개인정보와 관련된 다양한 문제들을 초래할 수 있다. 따라서, 데이터가 부족한 경우 활동기반 모델을 구축하기가 어렵다. 이에 본 논문에서는 Activity-based 모델을 적용하기에 앞서 Tour-based 모델을 사용하여 차량등록대수, 인구그룹, 통행목적에 따른 통행발생량 추정 보정방안을 제시하였다. 이는 교통운영측면의 도로교통 수요예측 시 가장 영향을 주는 개인교통수단의 통행발생량을 예측하는데 집중하여 도로용량에 미치는 영향을 분석하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 2016년 가구통행실태 조사자료, 인구, 차량등록대수를 활용하여 대전광역시의 통행발생량 분석결과, 본 연구에서 인구그룹 간 Tour 기반의 통행목적을 분류하고 개인교통수단을 활용한 통행발생 총량을 차량등록대수를 기반으로 실제 통행량을 보정한 결과 KTDB와 비교하여 약 13% 높게 추정이 되었으나 이는, 주로 차량을 이용하지 않는 학생 인구의 통행발생량에 대한 값이 매우 상이하여 발생하는 문제로 판단된다 (KTDB: 120,087 통행, 본 연구: 203,146통행). 학생들은 하루에 등교를 위한 통행을 최소 한번은 한다는 가정을 기반으로 데이터 분석 시점 (2016년)의 초·중·고교생(School)의 학생수의 통한 통행발생량 추정을 수행하였다. 그 결과, 학생 수는 총 218,492명으로 앞서 언급한 가정을 기반으로 한다면 최소 200,000 통행은 발생해야 하므로, 본 연구에서 제시한 통행발생량 보정방법은 상당히 합리적인 수준이다.

본 연구에서 활용한 자동차등록대수는 보다 개인화된 통행을 정의하기 위한 인구그룹 분류 및 목적별 통행발생량 추정을 위한 목적으로 통행가능차량을 전체 차량등록대수로 하는 방법론을 제시하였다. 이는 활동기반모형을 위해 수집해야 하는 자료들을 최소화할 수 있으며, 도로운영측면의 교통수요에 집중하여 예측하는데 차별점이 있다. 하지만, 개인교통수단을 이용한 통행발생의 총량으로 제한함으로써, 도로운영측면의 수요예측 외 장기적인 교통수요가 중요한 계획측면의 교통수요에 반영하기에는 차량증가대수 예측 및 전수화 과정의 오차 등과 같은 한계점이 있을 수 있다.

본 연구에서는 2016년 대전광역시를 분석대상지로 선정하여 비교분석을 수행하였지만, 본 연구 결과의 신뢰성을 보다 높이기 위해서는 향후 2021년의 가구통행실태 조사자료 배포 시 분석의 시공간적 범위를 확장하여 다양한 시간적 범위 및 타 지역의 적용가능성이 필요하다. 또한, 차량의 이동수요를 기반으로 하는 운영 측면의 수요예측은 향후 자율주행시대 도래 시 자율주행차량을 이용한 통행서비스로 인해 증가되는 차량 운영효율을 고려하여 도로에 가중되는 교통수요를 파악하여 보다 효율적인 도로 운영계획 수립 시 활용될 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00141102)

## REFERENCES

- Adenaw, L. and Bachmeier, Q.(2022), “Generating Activity-Based Mobility Plans from Trip-Based Models and Mobility Surveys”, *Applied Sciences*, vol. 12, no. 17, p.8456.
- AG, P. P. T. V.(2000), *VISEM User Manual (20.09. 01) Version 7.5*.
- Agrawal, A., Udmale, S. S. and Sambhe, V. K.(2018), “Extended four-step travel demand forecasting model for urban planning”, *Information and Communication Technology for Sustainable Development: Proceedings of ICT4SD 2016*, Springer Singapore, vol. 2, pp.191-198.
- Apronti, D. T. and Ksaibati, K.(2018), “Four-step travel demand model implementation for estimating traffic volumes on rural low-volume roads in Wyoming”, *Transportation Planning and Technology*, vol. 41, no. 5, pp.557-571.
- Bhat, C. R. and Koppelman, F. S.(1999), “Activity-based modeling of travel demand”, In *Handbook of transportation Science*, Boston, MA, Springer US, pp.35-61.
- Castiglione, J., Bradley, M. and Gliebe, J.(2015), *Activity-based travel demand models: A primer*, No. SHRP 2 Report S2-C46-RR-1.
- Childress, S., Nichols, B., Charlton, B. and Coe, S.(2015), “Using an activity-based model to explore the potential impacts of automated vehicles”, *Transportation Research Record*, vol. 2493, no. 1, pp.99-106.
- Cirillo, C. and Axhausen, K. W.(2002), “Mode choice of complex tours: A panel analysis”, *Arbeitsberichte Verkehrs-und Raumplanung*, vol. 142.
- Davidson, W., Donnelly, R., Vovsha, P., Freedman, J., Ruegg, S., Hicks, J., Castiglione, J. and Picado, R.(2007), “Synthesis of first practices and operational research approaches in activity-based travel demand modeling”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 41, no. 5, pp.464-488.
- Dias, F. F., Nair, G. S., Ruíz-Juri, N., Bhat, C. R. and Mirzaei, A.(2020), “Incorporating autonomous vehicles in the traditional four-step model”, *Transportation Research Record*, vol. 2674, no. 7, pp.348-360.
- Eom, J. K.(2007), “Introducing a spatial-temporal activity-based approach for estimating travel demand at KTX stations”, *Proceedings of the Korean Society for Railway Conference*, The Korean Society for Railway, pp.734-743.
- Fagnant, D. J. and Kockelman, K.(2015), “Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 77, pp.167-181.
- Ferdous, N., Bhat, C., Vana, L., Schmitt, D., Bowman, J., Bradley, M. and Pendyala, R.(2011), *Comparison of Four-Step Versus Tour-Based Models in Predicting Travel Behavior Before and After Transportation System Changes: Results Interpretation and Recommendations (No. FHWA/OH-2011/4)*, University of Texas at Austin, Center for Transportation Research.
- Festa, D. C., Condino, D. and Mazzulla, G.(2006), “Experimental tour-based travel demand models”, *European Journal of Operational Research*, vol. 175, no. 3, pp.1472-1483.
- Gallo, M.(2023), “Models, algorithms, and equilibrium conditions for the simulation of autonomous vehicles in exclusive and mixed traffic”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 129,

102838.

- Guo, Y., Yang, F., Xie, S. and Yao, Z.(2023), “Activity-based model based on long short-term memory network and mobile phone signalling data”, *Transportmetrica A: Transport Science*, pp.1-21.
- Haboucha, C. J., Ishaq, R. and Shiftan, Y.(2017), “User preferences regarding autonomous vehicles”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 78, pp.37-49.
- Hafezi, M. H., Liu, L. and Millward, H.(2019), “A time-use activity-pattern recognition model for activity-based travel demand modeling”, *Transportation*, vol. 46, pp.1369-1394.
- Hamad, K. and Obaid, L.(2022), “Tour-based travel demand forecasting model for a university campus”, *Transport Policy*, vol. 117, pp.118-137.
- Hasnine, M. S. and Habib, K. N.(2018), “What about the dynamics in daily travel mode choices? A dynamic discrete choice approach for tour-based mode choice modelling”, *Transport Policy*, vol. 71, pp.70-80.
- Hasnine, M. S. and Nurul Habib, K.(2021), “Tour-based mode choice modelling as the core of an activity-based travel demand modelling framework: A review of state-of-the-art”, *Transport Reviews*, vol. 41, no. 1, pp.5-26.
- Kim, I. G.(2006), “Reconsideration of settlement and forecasting procedures for traffic demand analysis(교통수요분석을 위한 정산과 예측 절차에 대한 재고찰)”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 3, no. 1, pp.87-106.
- Lim, K. K., Kim, S. G. and Chung, S. B.(2013), “Activity-based Approaches for Travel Demand Modeling: Reviews on Developments and Implementations”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 2, pp.719-727.
- Lim, Y. T. and Kim, S. G.(2006), “Parameter Calibration of Gravity Model Considering Future Travel Patterns”, *The Korea Spatial Planning Review*, pp.93-104.
- McFadden, D.(1974), “The measurement of urban travel demand”, *Journal of Public Economics*, vol. 3 no. 4, pp.303-328.
- McNally, M. G.(2000), “THE FOUR-STEP MODEL”, In *HANDBOOK OF TRANSPORT MODELLING*, Emerald Group Publishing Limited.
- Miller, E. J., Roorda, M. J. and Carrasco, J. A.(2005), “A tour-based model of travel mode choice”, *Transportation*, vol. 32, pp.399-422.
- Pinjari, A. R. and Bhat, C. R.(2011), “Activity-based travel demand analysis”, *A Handbook of Transport Economics*, vol. 10, pp.213-248.
- Recker, W. W.(2001), “A bridge between travel demand modeling and activity-based travel analysis”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 35, no. 5, pp.481-506.
- Rossi, T. F. and Shiftan, Y.(1997), “Tour based travel demand modeling in the US”, *IFAC (International Federation of Automatic Control) Proceedings*, vol. 30, no. 8, pp.381-386.
- Seo, S. E., Jeong, J. H. and Kim, S. G.(2006), “Analysis of the Elderly Travel Characteristics and Travel Behavior with Daily Activity Schedules (the Case of Seoul, Korea)”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 24, no. 5, pp.89-108.
- Shiftan, Y. and Ben-Akiva, M.(2011), “A practical policy-sensitive, activity-based, travel-demand model”, *The Annals of Regional Science*, vol. 47, pp.517-541.



- Stocker, A. and Shaheen, S.(2018), *Shared automated mobility: Early exploration and potential impacts*, Springer International Publishing, pp.125-139.
- Västberg, O. B., Karlström, A., Jonsson, D. and Sundberg, M.(2020), “A dynamic discrete choice activity-based travel demand model”, *Transportation Science*, vol. 54, no. 1, pp.21-41.
- Vishnu, B. and Srinivasan, K. K.(2013), “Tour-based departure time models for work and non-work tours of workers”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 104, pp.630-639.
- Wang, D. and Cheng, T.(2001), “A spatio-temporal data model for activity-based transport demand modelling”, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 15, no. 6, pp.561-585.
- Yu, X., Van den Berg, V. A. and Verhoef, E. T.(2022), “Autonomous cars and activity-based bottleneck model: How do in-vehicle activities determine aggregate travel patterns?”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 139, 103641.