

## 대존 세분화에 따른 내부 소존 간의 O-D 통행량 추정 방법

김정인 · 김익기\*

한양대학교 교통물류공학과

### Estimating O-D Trips Between Sub-divided Smaller Zones Within a Traffic Analysis Zone

KIM, Jung In · KIM, Ikki\*

Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

#### Abstract

The Korea Transport Institute (KOTI) builds the origin and destination(O-D) trip data with relatively smaller zone size such as Eup, Myeon, Dong administration unit districts in metropolitan area. Otherwise, O-D trip data was built by bigger size of traffic analysis zone(TAZ) such as Si, Gun, Gu administration unit districts for rural area. In some cases, it is needed to divide a zone into several sub-zones for rural area in order to analyze travel distribution pattern in detail for a certain highway and rail project. The study suggested a method to estimate O-D trips for sub-zones in the larger-size zones in rural area. Two different distribution models, direct demand model and gravity model, were calibrated for sub-zone's intra-zonal O-D trip pattern with metropolitan area O-D data which has smaller zone-size (sub-zone) data categorized by low, middle and high population density. The calibration results were compared between the two models. The gravity model with impedance function of power functional form was selected with better explanation for all groups in the metropolitan area. The adjusted  $R^2$  was 0.7426, 0.6456 and 0.7194 for low, middle and high population density group, respectively. The suggested O-D trip estimating method is expected to produce enhanced trip patterns with sub-divided small zones.

한국교통연구원은 수도권 및 광역권의 기종점 자료를 읍면동 행정단위로 교통존을 세분화하여 배포하고 있으며, 지방부는 자료의 한계로 시군구 행정단위로 교통존을 구축하여 배포하고 있다. 도로 및 철도사업에서 사업 주변 지역에 정교한 통행 패턴을 분석하기 위해서 특정 교통존을 더욱 잘게 나누어 세분화된 교통존을 구축하는 과정이 필요한 경우가 있다. 본 연구는 시군구 행정단위의 지방부 교통존에서 읍면동 행정단위로 세분화된 교통존의 O-D 통행량을 추정하는 방법론을 제시하였다. 수도권 및 광역권의 공간적인 내부 통행 분포 패턴을 토대로 교통존의 인구 밀도를 저, 중, 고밀도 그룹으로 분류하고 그룹별 직접수요모형과 중력모형의 계수 값을 정산하였다. 그리고 회귀분석을 수행하여 내부 통행 분포 패턴을 잘 설명하는 모형을 최종적으로 선별하고 정산된 모형을 지방부에 적용하여 내부 교통존을 세분화한 교통존 간 통행량을 추정하였다. 분석 결과, power function을 저항함수로 정산한 중력모형의 수정된  $R^2$ 가 인구 저밀도 그룹에서는 0.7426, 중밀도 그룹에서는 0.6456, 고밀도 그룹에서는 0.7194로 산출되었으며 본 모형이 교통존 내부의 세부존 간의 통행 패턴을 우수하게 설명하는 것으로 분석되었다. 또한 본 연구에서는 강원도 인제군에 정산된 모형을 적용하여 세부존 간 통행량을 산출하는 예시를 제시하였다. 본 연구에서 제시한 세분화 교통존의 O-D 통행량 추정 방법론을 이용할 경우, 세분화된 교통존 간 통행량을 구축하여 통행 패턴을 좀더 체계적이고 정교하게 분석할 수 있을 것이다.

#### Keywords

direct demand model, gravity model, impedance function, intra-zonal trip, trip distribution  
직접수요모형, 중력모형, 저항 함수, 교통존 내부 통행, 통행 분포

\*: Corresponding Author  
ikkikim@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5152, Fax: +82-31-436-8147

Received 20 July 2015, Accepted 19 November 2015

© 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.

## 서론

도로 및 철도 사업에서 교통수요를 분석하기 위하여 사업 주변 지역에 있는 규모가 큰 교통존을 세분화하여 사업에 대한 통행 패턴을 정교하게 분석하는 과정이 필요하다. 한국교통연구원에서 배포하는 KTDB 수도권 및 광역권의 기종점 자료는 교통존이 읍면동 행정단위로 상세하게 구축되어 있다. 반면에 수도권 및 광역권을 제외한 지방부는 자료의 한계성으로 교통존이 시군구 행정단위로 구축되어 있어 주변 지역에 상세한 분석을 위해서는 간혹 교통존의 세분화 과정이 필요하다. 우리나라에서 수행하는 예비 타당성 조사는 일반적으로 교통존을 세분화할 때, 세부존의 인구 수 비율이나 종사자 수 비율을 획일적으로 적용하여 세부존 간 통행량을 산출하고 있다(Korea Development Institute, 2008).

본 연구는 지방부의 시군구 행정단위 교통존을 읍면동 행정단위 교통존으로 세분화하는 방법론을 제시하였다. 읍면동 행정단위로 세분화된 수도권 및 광역권의 기종점 자료를 토대로 인구 밀도에 따라 공간적인 통행 분포 패턴을 수학적 모형화하고, 정산된 모형을 지방부에 적용하여 세분화된 교통존의 O-D 통행량을 추정하는 방법론을 제시하였다. 즉 수도권 및 광역권의 교통존 내부 통행 패턴에 대해 직접수요모형과 중력모형을 활용하여 인구 밀도로 범주화한 모형 계수 값을 정산하고, 분석 결과에 대해서는 회귀분석을 통해 수도권 및 광역권의 읍면동 행정단위의 통행 패턴이 모형에 의해 잘 설명되는지를 검증하고, 적절한 모형을 최종적으로 제안하였다. 지방부의 교통존에 대해서는 읍면동 행정단위로 세분화하고, 정산된 모형을 활용하여 지역별 특성을 반영하기 위해 인구 밀도로 범주화된 모형으로 세분화 교통존의 O-D 통행량을 추정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 사회 경제 지표 자료와 중력모형을 이용하여 교통존 내부 통행량 특성을 파악한 기존 문헌을 고찰하였다. 3장에서는 지방부의 시군구 행정단위 교통존을 세분화한 읍면동 행정단위 교통존의 O-D 통행량을 추정하는 방법론을 제시하였고 4장에서는 결론을 정리하였다.

### 기존 문헌 고찰

본 연구는 교통존 내부 통행과 중력모형 관련 연구를 고찰하고 기존 문헌과 차별성을 제시하였다.

## 1. 교통존 내부 통행 관련 연구

Ryu and Lee(2001)는 대구광역시의 가구통행 실태조사 자료를 토대로 존 규모별에 따른 수단별, 통행목적별로 교통존 내부 통행량 예측모형을 구축하였다. 해당 교통존의 인구만으로도 교통존 내부 통행량에 대한 설명력이 0.91로 도출되어 인구 수와 교통존 내부 통행량의 관계가 매우 밀접함을 주장하였다. Choi and Rho(2013)는 교통존의 토지 이용 특성과 사회 경제 지표를 이용하여 서울시에서 출근목적의 교통존 내부 통행량 비율과 교통존 내부 통행량을 선형 다중회귀모형으로 추정하였다. 추가적으로 연구에서 제시한 교통존 내부 통행량 비율 추정 회귀모형과 기존 연구들에서 제시된 모형들과 비교하며 오차율 측면에서 개선효과를 제시하였다. Park et al.(2011)은 가구통행 실태조사의 한계성으로 인하여 일부 교통존은 내부 통행량 관측 자료가 없다는 점을 지적하여 교통존 내부 통행량을 산출하는 방법론을 제시하였다. KTDB 기종점 자료와 가구통행 실태조사 자료를 기반으로 군집분석과 회귀분석을 실시하여 교통존 내부 통행량을 산출하였고 직접수요모형을 이용하여 세부 교통존의 존간 통행량과 존내 통행량을 산출하였다. Bhatta and Larsen(2011)은 가구통행 실태조사 자료를 바탕으로 교통존 내부 통행과 교통존 간 통행의 수단 부담률을 비교하였으며, 존내 통행을 포함 혹은 제외하며 수단선택 모형을 각각 산출하고, 그 결과를 비교 분석하였다. 결과적으로 교통존 내부 통행을 제외하고 수단선택 모형을 산출할 때는 모형의 계수 값이 편향된다는 결론을 도출하였다. Greenwald(2006)는 토지 이용에 따른 교통존 내부 통행의 특성을 분석하였다. 교통존 내부 통행은 통행의 목적이 되는 활동시간과 통행거리가 짧았으며 도시와 산업의 형태에 따라 통행 분포와 수단선택에 유효한 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

## 2. 교통존 내부 통행과 중력모형 관련 연구

Ryu(2006)는 교통존 내부 통행에 대해 중력모형을 적용하여 예측할 경우, 교통저항이 '0'으로 산정된다는 점을 지적하며 존내 통행을 예측하는 방법론을 제시하였다. 기존연도에서 구축된 중력모형을 통하여 존내 통행의 교통저항을 산출하고 장래연도에 이 교통저항을 대입하여 존내 통행을 예측하였다. 기존에 교통존 내부 통행을 예측하기 위해 사용되어 왔던 성장률법과 회귀모형법과 본

방법론의 결과 값을 비교해 본 결과, 본 방법론이 우수한 결과로 분석되었다고 주장하였다. Ghareib (1996)은 기종점 자료를 구성하는 교통존 내부통행(intra-zonal trip), 교통존 간(inter-zonal trip) 그리고 연구대상지역 외부에서 발생하는 외부 통행(external trip)을 각각 구별하여 중력모형을 이용한 모형치와 실측치를 비교 및 분석하였다. 교통존 내부 통행과 교통존 간 통행별로 각각 중력모형의 계수 값을 추정하여 적용하는 것이 현실에 가까운 묘사력을 갖는 것으로 분석되었다.

### 3. 기존 문헌과 차별성

국내외의 기존 연구에서는 교통존 내부 통행의 특성을 파악하여 회귀분석이나 중력모형을 이용하여 내부 통행의 발생량 자체를 추정하는 데 초점을 두고 연구가 주로 이루어졌다. 그러나 교통존 내부 통행을 세분화하여 소존 간 통행 분포 패턴을 설명하는 연구는 미흡한 실정이다. 직접수요모형을 이용하여 내부 통행 분포 패턴을 설명하는 기존 연구가 수행되었으나 본 연구에서는 직접수요모형뿐만 아니라 중력모형을 이용하여 내부 통행 분포를 우수하게 설명하는 모형을 비교하여 제시하였다. 나아가 단일 모형으로 통행 분포 패턴을 설명하기에는 한계성이 있다고 판단하여 교통존의 인구 밀도에 따른 그룹별 모형의 계수 값을 정산하여 모형을 구축하였다. 따라서 본 연구는 주로 교통존 내부 통행의 발생량을 추정하는 기존 연구와는 다르게 교통존 내부 통행의 분포를 추정하고 분포 모형을 선별하는 방법론을 제시하는데 중점을 두었다.

### 통행 분포 모형 구축

본 연구는 읍면동 행정단위 수도권 및 광역권의 기종점 자료를 토대로 내부 통행 분포 모형을 구축하여 세분화된 교통존 간 통행량을 제시하였다. 인도 밀도에 따라 내부 통행 분포 패턴이 다르다고 판단하여 교통존을 인구 저밀도, 중밀도, 고밀도로 분류하고 인구 밀도별 직접수요모형과 중력모형을 정산하였다. 그리고 회귀분석을 통해 대존(시군구 행정단위) 내부의 소존(읍면동 행정단위) 간 통행 분포 특성을 잘 설명하는 모형을 선정하고, 선정된 모형을 지방부 시군구 행정단위의 교통존에 적용하여 읍면동 행정단위 교통존의 통행 분포 패턴을 추정하였다. Figure 1은 연구의 흐름도를 나타낸다.

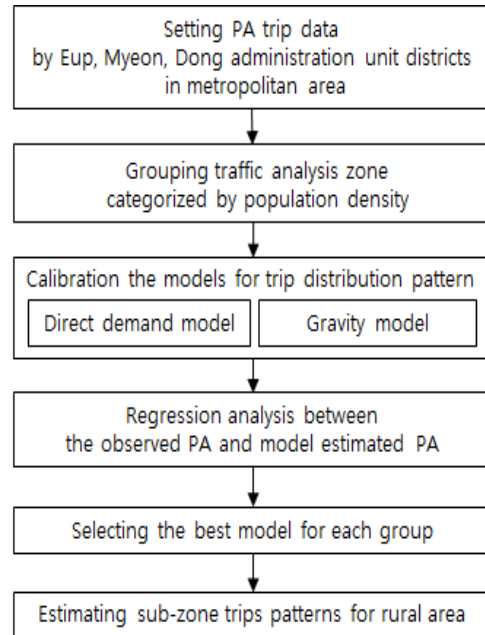


Figure 1. Study framework

### 1. 기초 자료 구축

한국교통연구원 KTDB에서 배포한 2010년 가구통행실태 표본조사자료 기준의 수도권 및 광역권 PA 통행량 자료와 네트워크를 기초자료로 활용하였다. 또한 행정단위의 인구 수, 종사자 수, 면적 등 사회경제 지표자료도 연구에 활용하였다.

### 2. 통행 분포 모형 정산 및 모형 간 정산 결과 비교

#### 1) 직접수요모형

직접수요모형은 통행자가 통행 목적, 출발지, 목적지, 교통수단, 통행 경로, 시간대를 모두 동시에 결정하여 통행을 발생한다고 가정한 모형이다. 이를 수식으로 나타내면 식(1)과 같다(Kanafani, 1983).

$$X_{ijmrt}^p = X(D^p, S_{ijmrt}) \tag{1}$$

$X_{ijmrt}^p$  : 출발존  $i$ , 도착존  $j$ , 교통수단  $m$ , 경로  $r$ , 시간대  $t$ , 통행목적  $p$ 의 통행량

$D^p$  : 통행목적  $p$ 의 수요 변수

$S_{ijmrt}$  : 출발존  $i$ , 도착존  $j$ , 교통수단  $m$ , 경로  $r$ , 시간대  $t$ 의 공급 변수

**Table 1.** Direct demand model

division	low population density			middle population density			high population density		
$R^2$	0.463			0.474			0.461		
adjusted $R^2$	0.463			0.474			0.461		
variable	coefficient	t-value	p-value	coefficient	t-value	p-value	coefficient	t-value	p-value
constant	-5.49	-32.63	0.00	-10.32	-31.73	0.00	-8.91	-34.11	0.00
population of production zone $i$ ( $\ln P_i$ )	0.65	40.14	0.00	0.89	30.59	0.00	0.67	26.45	0.00
population of attraction zone $j$ ( $\ln P_j$ )	-	-	-	0.46	14.83	0.00	0.40	15.74	0.00
employer of production zone $i$ ( $\ln E_i$ )	-	-	-	-	-	-	0.21	15.31	0.00
employer of attraction zone $j$ ( $\ln E_j$ )	0.70	48.52	0.00	0.56	29.23	0.00	0.51	37.43	0.00
distance among zones ( $L_{ij}$ )	-0.15	-67.55	0.00	-0.52	-63.17	0.00	-0.67	-78.02	0.00

직접수요모형의 수요 변수는 통행 수요를 유발할 수 있는 변수, 즉 인구 수, 고용자 수, 주거 밀도, 학생 수 등을 나타낸다. 공급 변수는 특정한 존 간의 통행 시간, 통행 비용 등을 나타낸다. 본 연구에서는 수도권 및 광역권의 기종점 자료에서 읍면동 행정단위의 인구 수, 인구 밀도, 종사자 수, 종사자 밀도를 수요 변수로 설정하였다. 또한 읍면동 행정단위로 세분화된 교통존 간의 통행 거리를 공급 변수로 설정하여 직접수요모형을 식(2)와 같은 형태로 정산하였다.

$$X_{ij} = \alpha (P_i^\beta P_j^\beta) (PD_i^\gamma PD_j^\gamma) (E_i^\delta E_j^\delta) (ED_i^\zeta ED_j^\zeta) (e^{-\eta L_{ij}}) \quad (2)$$

- $X_{ij}$  : 생성존  $i$ 에서 유인존  $j$ 로 PA 통행량
- $P_i, P_j$  : 존  $i$ 와  $j$ 의 인구 수
- $PD_i, PD_j$  : 존  $i$ 와  $j$ 의 인구 밀도
- $E_i, E_j$  : 존  $i$ 와  $j$ 의 종사자 수
- $ED_i, ED_j$  : 존  $i$ 와  $j$ 의 종사자 밀도
- $L_{ij}$  : 생성존  $i$ 에서 유인존  $j$ 까지의 통행거리(km)

식(2)는 변수들의 곱셈 형태이므로 양변에 자연로그를 취하여 덧셈 형태의 선형 다중회귀모형으로 변형하였다. 회귀모형을 정산 시, 다중공선성을 고려하며 변수들 간의 조합으로 설명력이 우수한 모형을 구축하였다. 또한 지역별 특성을 반영하기 위하여 시군구 행정단위의 인구 밀도별로 직접수요모형을 정산하였다.

시군구 행정단위의 인구 밀도를 저밀도, 중밀도, 고밀도로 분류하기 위하여 임계치가 필요하다. 본 연구에서

**Table 2.** Groups of population density

population density (person/km <sup>2</sup> )	
low population density	0-5,000
middle population density	5,000-10,000
high population density	10,000~

는 시행착오를 통하여 내부의 통행 분포 패턴이 통계적으로 유의한 차이가 있다고 판단되는 임계치를 기준으로 인구 밀도 그룹을 분류하였다. 결과적으로 5,000(인/km<sup>2</sup>), 10,000(인/km<sup>2</sup>)로 임계치를 정하여 저밀도, 중밀도, 고밀도 세 그룹 간의 분산 분석을 수행하였다. 분산 분석 결과, 유의수준 0.01보다 많이 적은 p-값의 결과가 나와서 귀무가설을 충분히 기각하게 되었다. 결론적으로 세 그룹 간 내부 통행 분포 패턴이 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있다고 분석되었다. 따라서 시군구의 인구 밀도가 5,000(인/km<sup>2</sup>)이하이면 저밀도 그룹으로, 인구 밀도가 5,000-10,000(인/km<sup>2</sup>)이면 중밀도 그룹으로, 인구 밀도가 10,000(인/km<sup>2</sup>) 이상이면 고밀도 그룹으로 Table 2와 같이 분류하고 인구 밀도 그룹별 직접수요모형을 Table 1과 같이 정산하였다.

인구 밀도에 따른 직접수요모형을 정산한 결과, 독립 변수는 저밀도 그룹에서는 생성존의 인구 수, 유인존의 종사자 수, 교통존 간 통행거리로 결정되었고 수정된  $R^2$ 는 0.463으로 분석되었다. 중밀도 그룹에서는 생성존의 인구 수, 유인존의 인구 수와 종사자 수, 교통존 간 통행거리가 독립변수로 결정되었고 수정된  $R^2$ 는 0.474로

**Table 3.** Parameter of impedance functions

division	low population density			middle population density			high population density		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Exponential function	-	0.456	-	-	0.795	-	-	1.018	-
Power function	-	2.133	-	-	1.592	-	-	1.542	-
Modified gamma function	10375	-0.000	-2.259	9.4E+11	0.455	-0.061	90.927	-0.000	-1.102

분석되었다. 또한 고밀도 그룹에서는 생성존의 인구 수와 종사자 수, 유인존의 인구 수와 종사자 수, 교통존 간 통행거리가 독립변수로 결정되었고 수정된  $R^2$ 는 0.461로 분석되었다. 교통존의 인구 수와 종사자 수의 부호는 모두 양수로 산정되어 교통존 간 통행량에 긍정적인 영향을 주는 변수로 해석된다. 반면 통행거리는 음의 부호로 산정되어 교통존 간 통행량에 부정적인 영향을 주는 것으로 해석되며, 이는 현실적으로도 타당한 결과라고 판단된다. 각 그룹별 계수의 유의확률은 모두 0.05보다 작으므로 유의한 변수라고 해석된다.

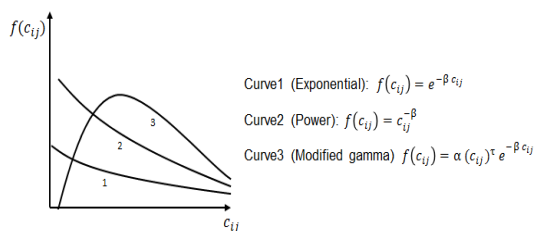
**2) 중력모형**

Ravenstein은 유럽과 북아메리카를 왕래하는 이주민을 분석하면서 중력모형을 처음으로 제안하였다. 특정 도시를 이동하는 사람들의 숫자는 도시의 크기에 비례하고 두 도시 간의 거리에 반비례한다는 원칙을 발견하였다(Kanafani, 1983). 1950년 초반이 되어 성장률법이 수요를 예측하는 데 설명력이 충분치 못하다고 판명되어 중력모형이 사용되기 시작하였다. 현재는 통행 분포 모형 중에서 가장 보편적으로 사용되고 있으며 Kanafani(1983)는 중력모형을 식(3)과 같이 제시하였다.

$$t_{ij} = kA_i B_j f(c_{ij}) \tag{3}$$

- $t_{ij}$  : 교통존  $i$ 와 교통존  $j$ 간 통행량
- $k$  : balancing factor
- $A_i$  : 교통존  $i$ 에 생성한 통행량
- $B_j$  : 교통존  $j$ 에 유인된 통행량
- $f(c_{ij})$  : 일반비용  $c_{ij}$ 의 저항함수 값

본 연구는 읍면동 행정단위로 구축된 교통존 간의 통행 분포 패턴을 추정하는 것이 목적이므로 수도권 및 광역권의 PA 통행량을 토대로 인구 밀도에 따라 중력모형을 정산하였다. 저항함수는 일반적으로 exponential function, power function, modified gamma function으로 3가지 형태 중에 통행 분포를 잘 설명하는 함수



**Figure 2.** Impedance functions

를 선택하여 예측에 활용한다(Kim, 2006). exponential function과 power function은 Figure 2와 같이 저항(통행시간 혹은 통행요금)이 클수록 저항함수 값이 단조 감소하는 형태이며, modified gamma function은 특정 저항에서 저항함수 값이 가장 크고 우측으로 긴 꼬리를 형성하는 형태이다. 본 연구에서는 TransCAD를 이용하여 읍면동 행정단위의 교통존 간 통행거리( $c_{ij}$ )을 산출하고 인구 밀도에 따라 각 저항함수의 파라미터( $\alpha, \beta, \gamma$ )를 Table 3과 같이 산출하였다.

**3) 정산 모형의 비교**

읍면동 행정단위의 교통존 간 통행 분포 패턴을 인구 밀도에 따라 직접수요모형과 중력모형으로 정산하였다. 통행 분포 패턴을 우수하게 설명하는 모형을 선별하기 위하여 본 연구에서는 식(4)와 같이 모형치와 실측치를 토대로 회귀분석을 수행하였다. 식(4)에서 상수  $\alpha$ 값이 0에 가까울수록, 계수  $\beta$ 값이 1에 가까울수록, 회귀모형의 수정된  $R^2$  값이 1에 가까울수록 통행 분포 패턴을 우수하게 설명하는 모형이라고 판단할 수 있다.

$$Obs T_{ij} = \alpha + \beta Model T_{ij} \tag{4}$$

- $Obs T_{ij}$  : KTDB 자료 유출존 $i$ 와 유인존 $j$ 간 통행량 (실측치)
- $Model T_{ij}$  : 모형식으로 산출한 유출존 $i$ 와 유인존 $j$ 간 통행량(모형치)



Table 4. Comparison of models

division	low population density				middle population density				high population density			
	direct demand model	gravity model			direct demand model	gravity model			direct demand model	gravity model		
		exponential	power	modified gamma		exponential	power	modified gamma		exponential	power	modified gamma
$R^2$	0.2730	0.7369	0.7427	0.7425	0.3613	0.6321	0.6457	0.5940	0.3661	0.6648	0.7195	0.6859
adjusted $R^2$	0.2730	0.7369	0.7426	0.7425	0.3612	0.6321	0.6456	0.5939	0.3660	0.6647	0.7194	0.6859
$\alpha$ (t-value)	-280.32 (-6.97)	-128.50 (-5.99)	73.14 (3.50)	112.17 (5.38)	-141.82 (-2.94)	-97.88 (-2.93)	16.68 (0.52)	-484.17 (-12.97)	90.34 (3.19)	-179.42 (-9.08)	-62.08 (-3.55)	-464.11 (-23.04)
$\beta$ (t-value)	5.09 (79.06)	1.09 (215.91)	0.95 (219.14)	0.92 (219.04)	1.98 (65.37)	1.05 (113.93)	0.99 (117.33)	1.27 (105.13)	1.52 (78.62)	1.12 (145.68)	1.04 (165.66)	1.32 (152.89)

회귀분석을 수행한 결과는 Table 4와 같다. 저밀도 그룹에서 회귀모형의 수정된  $R^2$  값이 가장 높은 모형은 0.7426으로 power function을 저항함수로 사용한 중력모형으로 분석되었다. 중밀도 그룹에서는 power function을 저항함수로 사용한 중력모형이 통행 분포 패턴을 가장 우수하게 설명하는 것으로 분석되었으며 수정된  $R^2$  값이 0.6456으로 가장 높게 산출되었다. 또한 고밀도 그룹에서도 power function을 이용한 중력모형이 통행 분포 패턴을 우수하게 설명하는 것으로 분석되었으며 수정된  $R^2$  값 역시 0.7194로 가장 높게 산출되었다. 각 인구 밀도 그룹에서 power function을 저항함수로 이용한 중력모형의 회귀분석 결과를 살펴보면,  $\beta$  값이 모두 0.95, 0.99, 1.04로 모두 1에 가장 근접하게 산출되었다. 이는 power function을 저항함수로 이용한 중력모형이 교통존 내부의 세부존 간의 통행 패턴을 우수하게 설명하고 있음을 의미한다. 교통존 내부의 통행 패턴은 주로 통행거리가 짧은 통행인 것으로 보아, 저항에 따라 단조 감소하는 power function이 적절한 것으로 판단된다. 따라서 인구 밀도별 세분화된 교통존 간의 통행 분포를 가장 우수하게 설명하는 모형은 Table 5와 같다.

본 연구는 읍면동 행정단위의 교통존 자료가 구축된 수도권 및 광역권 KTDB 자료를 활용함으로써 시군구 행정단위의 존내부 통행(intra-zonal trip)을 기반으로 세분화한 소존 간의 통행 분포 패턴을 모사할 수 있는 모형의 정산이 가능하게 되었다. 이와 같은 모형을 정산하는 과정을 거쳐 중력모형이 직접수요모형보다 대존 내부의 소존 간의 분포 패턴을 좀 더 통계적으로 유의하게 설명하고 있음을 파악할 수 있다. 또한 시군구 행정단위인 대존의 인구 밀도별 저항함수 형태와 계수 값을 적용할 때가 각각 환경에서 통계적으로 잘 설명하고 있는 것으로 분석되었다.

Table 5. Selected model by population density

division	selected model	parameter		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
low population density		-	2.133	-
middle population density	gravity model (impedance power function)	-	1.592	-
high population density		-	1.542	-

### 3. 모형 적용

수도권 및 광역권 자료를 토대로 정산된 시군구 행정단위의 대존을 읍면동 행정단위의 소존으로 세분화하고 대존의 내부 통행을 소존 간 P-A 통행으로 추정할 수 있는 분포 모형을 제시하였다. 따라서 읍면동 행정단위로 교통존 구축이 안 되어 있는 자료를 세분화 분석하고자 하는 경우 혹은 임의로 세분화된 교통존 자료로 구축하고자 할 경우에 앞에서 분석 결과로 제시된 정산된 모형을 적합한 환경에 적용할 수가 있을 것이다.

본 연구에서 정산된 통행 분포 모형을 적용할 지역으로 강원도 인제군을 예시로 선정하여 세부존 간 통행량을 산출하였다. 지방부의 시군구 행정단위의 교통존을 읍면동 행정단위의 교통존으로 세분화하기 위하여 필요한 자료는 읍면동 행정단위의 교통존 통행 생성량, 통행 유인량, 세분화된 교통존 간 통행거리이다. 그러나 지방부는 자료의 한계로 읍면동 행정단위의 교통존 통행 생성량과 통행 유인량이 구축되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 교통존의 통행 생성량은 인구 수로, 교통존의 통행 유인량은 종사자 수로 대체하여 정산된 모형을 적용하였다. 강원도 인제군은 인제읍, 남면, 북면, 기린면, 서화면, 상남면으로 총 6개의 읍면동으로

**Table 6.** Data setting for redistributing the intra-zonal trip in gangwon-do inje-gun (unit: person, km)

production zone			attraction zone			Length
zone	population	employee	zone	population	employee	
inje-eup	9,656	3,994	inje-eup	9,656	3,994	8.9
	9,656	3,994	nam-myeon	4,135	694	13.9
	9,656	3,994	buk-myeon	8,230	2,849	6.8
	9,656	3,994	girin-myeon	5,258	1,231	20.1
	9,656	3,994	seohwa-myeon	3,162	409	16.6
	9,656	3,994	sangnam-myeon	1,734	402	23.2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

**Table 7.** Attributes of gangwon-do inje-gun in 2010

division	value
number of population	32,175 person
number of employee	9,579 person
population density	19.5 person/km <sup>2</sup>
intra zonal trip	35,258 trip/day

구성되어 있다. 세분화될 읍면동 6개의 인구 수, 종사자 수, 각 교통존 간 통행거리를 Table 6과 같이 구축하였다.

인제군의 교통존 내부 통행량은 Table 7과 같이 35,258(통행/일)이고 인구 밀도는 19.5(인/km<sup>2</sup>)이다. 인제군의 인구 밀도를 토대로 Table 2를 참고하면 인제군은 저밀도 그룹에 속하기 때문에 power function을 저항함수로 이용한 중력모형 계수 값 2.133을 적용하였다.

$$Model PA_{ij} = P_i \frac{E_j C_{ij}^{-2.133}}{\sum_{all\ zone\ z} E_z C_{iz}^{-2.133}} \quad (5)$$

- $Model PA_{ij}$  : 생성존  $i$ 와 유인존  $j$ 간의 통행량
- $P_i$  : 생성존  $i$ 의 인구 수
- $E_j$  : 유인존  $j$ 의 종사자 수
- $C_{ij}$  : 생성존  $i$ 와 유인존  $j$ 간의 통행거리

지방부에서 시군구 행정단위의 교통존 내부 통행량은 읍면동 행정단위의 세부존 간 통행량을 시군구 행정단위로 집합화했을 때, 총합이 일치해야 한다. 그러나 본 연구에서는 세부존의 통행 생성량과 통행 유인량 대신에 인구 수와 종사자 수로 대체하였기 때문에 이를 식(6)과 식(7)과 같이 보정하는 작업이 필요하다. 즉 정산된 모형으로 산출된 읍면동 행정단위의 세부존 간 통행량에 세부존 간 통행량 총합을 나누어 세부존 통행량 비율을

식(6)과 같이 산출하였다.

$$Ratio_{ij} = \frac{Model PA_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Model PA_{ij}} \quad (6)$$

- $Ratio_{ij}$  :  $i$ 존과  $j$ 존 간 세부존 통행량 비율
- $Model PA_{ij}$  : 중력모형으로 산출된 세부존  $PA$  통행량

그리고 지방부의 시군구 행정단위 교통존 내부 통행량에 세부존 통행량 비율을 곱하여 식(7)과 같이 최종적으로 읍면동 행정단위의 세부존 간 통행량을 산출하였다. 인제군 교통존을 세분화하여 최종적으로 산출된 세부존 간 통행량은 Table 8과 같다.

$$PA_{ij} = Intra\ zonal\ PA \times Ratio_{ij} \quad (7)$$

- $PA_{ij}$  :  $i$ 존과  $j$ 존 간 세부존 통행량
- $Intra\ zonal\ PA$  : 대존의 내부 통행량 (KTDB)

본 절에서는 앞에서 정산된 모형을 적용한 사례적 분석 예제를 제시하였다. 인구 밀도별로 정산한 중력모형을 대존의 내부 통행에 적용하여 세분화된 소존 간 P-A 통행으로 추정하였다. 주의할 점은 수요 예측 4단계에서 수단 선택 단계와 노선 배정 단계를 수행하기 전에 P-A 통행을 O-D 통행으로 전환하여야 한다는 점이다. 본 연구에서는 P-A 통행에서 O-D 통행으로 전환할 때 사용하는 전환 계수 값을 모두 0.5로 단순화하여 사례분석 예제를 제시하였다. 현실적 분석에서는 가구통행 실태조사 자료에서 구축된 P-A 통행에서 O-D 통행으로의 전환계수를 적용하면 좀 더 조사 자료에 충실한 분석을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 8. Sub-zone O-D trips in inje-gun

(unit: trip)

division	destination						sum of origin
	inje-eup	nam-myeon	buk-myeon	girin-myeon	seohwa-myeon	sangnam-myeon	
origin inje-eup	4,358	532	5,848	791	541	227	12,297
nam-myeon	532	3,294	213	169	34	77	4,319
buk-myeon	5,848	213	2,258	503	1080	110	10,012
girin-myeon	791	169	503	2,737	68	613	4,881
seohwa-myeon	541	34	1080	68	456	15	2,194
sangnam-myeon	227	77	110	613	15	513	1,555
sum of destination	12,297	4,319	10,012	4,881	2,194	1,555	35,258

### 결론

교통존 간 통행 분포 패턴을 정교하게 분석하기 위하여 도로 및 철도 사업 지역 주변에 교통존을 세분화한다. 도로 및 철도 사업의 예비 타당성 조사는 일반적으로 교통존을 세분존의 인구 수나 종사자 수 비율을 이용하여 획일적으로 세분화하고 있으며 세분화하는 방법론이 정교하지 못한 실정이다. 수도권 및 광역권은 읍면동 행정단위로 가구통행 실태조사를 수행하여 교통존이 읍면동 행정단위로 정교하게 구축되어 있다. 그러나 지방부는 통행 자료와 사회경제 지표자료의 한계로 읍면동 행정단위로 교통존의 크기가 크게 구축되어 있다. 따라서 지방부에는 시군구 행정단위의 교통존을 읍면동 행정단위로 세분화하는 연구가 필요한 실정이다. 또한 내부 교통존에 대한 기존 연구는 주로 내부 교통존의 발생량을 추정하는 데 초점을 두고 있기 때문에 내부 교통존을 세분화하여 소존 간 통행 분포 패턴을 추정하는 연구가 필요하다.

본 연구는 지방부의 내부 교통존을 읍면동 행정단위로 세분화하여 통행 분포를 추정하는 방법론을 제시하였다. 인구 밀도가 유사한 수도권 및 광역권의 통행 분포 패턴을 모형화하고 이를 지방부에 적용하여 교통존을 시군구 행정단위에서 읍면동 행정단위로 세분화하였다. 수도권 및 광역권 자료에서 읍면동 행정단위의 교통존 간 통행량과 인구 수, 종사자 수 자료를 활용하여 인구 밀도에 따라 직접수요모형과 중력모형을 정산하였다. 중력모형은 exponential, power, modified gamma function으로 구성된 저항함수를 이용하여 각 파라미터를 산출하였다. 직접수요모형과 중력모형을 비교한 결과, power function을 저항함수로 사용한 중력모형이 인구 저밀도 그룹에서 수정된  $R^2$ 이 0.7426, 중밀도 그룹에서

0.6456, 고밀도 그룹에서는 0.7194로 모든 인구 밀도 그룹에서 통행 분포 패턴을 가장 우수하게 설명하는 것으로 분석되었다. 저항함수인 power function은 통행 거리가 멀수록 저항함수 값이 감소하는 형태임을 고려하면, 통행거리가 짧은 내부 통행 패턴을 잘 설명한다고 판단된다.

한국교통연구원 국가교통DB센터는 현재 자료의 한계성으로 지방부의 읍면동 행정단위 교통존 간 통행 자료를 배포하고 있지 않다. 본 연구는 이러한 자료의 한계성을 극복하고자 내부 통행 분포를 추정하기 위하여 수도권 및 광역권의 인구 밀도에 따라 공간적 분포 패턴이 지방부도 동일하다고 가정하였다. 수도권 및 광역권의 내부 통행 분포와 지방부의 내부 통행 분포가 지역적인 특성으로 다를 수도 있지만 본 연구에서 통행 분포 모형으로 정산된 중력모형은 기본적으로 공간적인 전이성을 갖는다고 가정하였다. 즉 기종점 간 통행량은 거리에 반비례하고 활동인구에 비례한다는 중력모형의 기본적인 원리는 사회 현상 속에서 일반적인 속성이기 때문에 수도권 및 광역권이나 지방부의 통행 분포에 중력모형의 기본적인 원리가 동일하게 전제된다고 판단된다.

교통존의 내부 통행을 세분화하면 다시 존재 통행과 존간 통행을 구분할 수 있다. 존재 통행과 존간 통행은 서로 통행 특성이 다르므로 모형을 구분하여 세분화하는 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 직접수요모형과 중력모형을 정산 시, 통행목적을 구분하여 파라미터를 추정한다면 더 정교한 모형이 구축될 수 있을 것으로 기대된다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a research project of the Korea Research Institute for Human Settlements.



## REFERENCES

- Adib K. (1983), Transportation Demand Analysis, McGraw-Hill Book Corporation, New York, 96, 165.
- Bhatta B. P., Larsen O. I. (2011), Are Intrazonal Trips Ignorable?, Transport Policy, 18(1), 13-22.
- Choi S. T., Rho J. H. (2013), Development of a Model for Estimation Intra-zonal Trip Introducing Zonal Land-use Characteristic Variables, Journal of Korea Planning Association, 48(1), 57-67.
- Ghareib A. H. (1996), Different Travel Patterns: Interzonal, Intrazonal, and External Trips, Journal of Transportation Engineering, 122(1), 67-75.
- Greenwald M. J. (2006), The Relationship Between Land Use and Interzonal Trip Making Behaviors: Evidence and Implications, Transportation Research Part D, 11(6), 432-446.
- Kim I. K. (2006), Reconsideration on Calibration and Forecasting Procedure for Transportation Demand Analysis, Transportation Technology and Policy, 3(1), Korean Society of Transportation, 87-106.
- Korea Development Institute (2008), A Study on Roadway-Railway Part Feasibility Study Standard Guideline Supplementation and Amendment (5th Edition), 242-249.
- Park J. H., Kim I. K., Bak J. E., Kim H. C. (2011), Approximation Method of Intra-zonal Trips for Empty Cells in O/D Trip Table, The 63rd Conference of KST, Korean Society of Transportation, 241-246.
- Ryu Y. G. (2006), A Study on Inner Zone Trip Estimation Method in Gravity Model, Journal of Korean Society of Civil Engineers, 26(5), 763-769.
- Ryu Y. G., Lee J. H. (2001), A study on Inner Trip Characteristics and Application of Network Assignment, Journal of Korean Society of Civil Engineers, 21(2-D), 153-164.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제72회 학술발표회 (2015.2.14)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ☞ 주 작성자 : 김정인
- ☞ 교신저자 : 김익기
- ☞ 논문투고일 : 2015. 7. 20
- ☞ 논문심사일 : 2015. 9. 30 (1차)  
2015. 11. 19 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2015. 11. 19
- ☞ 반론접수기한 : 2016. 4. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필