

통행분포 예측모형별 예측 정확도(精確度)에 관한 연구: 대구시 O-D표를 대상으로

유영근¹ · 우용한^{2*}

¹ 영남교통정책연구원, ² 경일대학교 건설공학부

A Study on Trip Distribution Estimation Model's Accuracy: Using Daegu City O-D Tables

RYU, Yeong-Geun¹ · WOO, Yong Han^{2*}

¹ Yeungnam Transportation Policy Institute, Gyeongbuk 712-800, Korea

² School of Construction Engineering, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea

Abstract

It is generally assumed about trip distribution estimation model that growth factor model's estimation accuracy is higher than that of other models in short-term and that gravity model's estimation accuracy is higher than that of other models in long-term. For validation of such assumptions, this study compares estimation accuracies of each estimation model using 3year(1988, 1992, 2004) O-D tables from Daegu city. Each estimation model's accuracy were compared by mid-size and large-size zone as well as short-term and long-term target years. The results show that the trip distribution estimation model selection by usual assumption is not always right.

통행분포 예측시 목표년도가 단기일 경우에는 성장인자모형의 예측 정확도가 높고, 장기 목표년도의 경우에는 중력모형의 예측 정확도가 높은 것으로 인식되어 오고 있다. 이와 같은 예측모형 적용경향에 대한 검정을 위해 본 연구에서는 대구시 3개 년도(1988년, 1992년, 2004년)의 O-D표를 이용하여 통행분포 예측모형들의 정확도를 비교하였다. 비교는 분석 존이 대존인 경우와 중존인 경우에서 예측모형별로 단기 목표년도의 정확도와 장기 목표년도 정확도를 구분하여 행하였다. 비교결과, 통행분포 예측모형의 통상적인 인식과 다른 결과가 있을 수 있다는 것이 규명되었다.

Key Words

Estimation Accuracy, Gravity Model, Growth Factor Model, O-D Matrix, Trip Distribution
예측정확도, 중력모형, 성장인자모형, O-D표, 통행분포

* : Corresponding Author

yhwoo3@kiu.ac.kr, Phone: +82-53-850-7251, Fax: +82-53-850-7606

Received 18 September 2011, Accepted 5 December 2012

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

장래의 통행분포 예측은 4단계 통행수요예측 과정 중 두 번째 단계에서 행해지는 것으로서 예측결과는 장래 O-D표로 정리된다.

통행분포 예측모형은 크게 성장인자모형, 중력모형, 확률모형의 3가지로 분류되며, 각기 장·단점을 가지고 있다. 성장인자모형은 세부적으로 균일 성장인자모형, 평균 성장인자모형, Fratar모형, Detroit모형 등으로 세분되며, 중력모형은 기본 중력모형과 수정 중력모형으로 세분된다.

그리고 확률모형은 개재기회모형, 경쟁기회모형, 엔트로피모형 등으로 세분된다.

성장인자모형은 모형의 파라미터(Parameters)를 추정할 필요가 없을 뿐만 아니라 계산이 단순하고 적용이 간편하여 통행분포 예측을 쉽게 행할 수 있지만, 통행분포에 관한 적절한 행태적 이론(Behavioral Theory)에 기초를 두지 않기 때문에 기본적인 예측 한계를 가진다(Yun, 2001). 성장인자모형의 구체적인 한계점은 다음과 같다(Dickey, 1983).

첫째, 분석대상지역 혹은 출발지 및 목적지 존별로 오직 하나의 성장인자가 적용되는 한계를 가진다.

둘째, 토지이용 및 존 간의 활동(Interzonal Activity)에 있어서 중요한 변화를 적절히 반영하지 못한다.

셋째, 존 간의 거리, 통행비용, 통행시간 등을 통행분포 예측과정에서 전혀 고려하지 못하는 한계를 가진다.

넷째, 기준년도에 분포통행량이 "0"인 존 페어(Zone Pair)는 목표년도에도 통행분포량이 "0"로 예측되는 한계를 가진다.

다섯째, 기준년도의 특정 존 페어간 통행분포가 잘못 조사되어 기준년도 O-D표에 큰 오차가 있을 경우, 목표년도 O-D표의 오차는 더욱 크게 된다.

이 외에도 기준년도에서의 존 체계(갯수, 크기, 경계 등)와 목표년도의 존 체계가 동일하지 않으면 예측을 할 수 없는 한계를 가진다.

하지만 성장인자모형은 이와 같은 많은 한계점에도 불구하고, 실무에서 많이 적용하고 있는 것도 사실이다.

중력모형은 성장인자모형의 한계점을 극복시킨 통행분포 예측모형으로 볼 수 있으며, 존의 통행증가 요소와 존 간의 통행감소 요소를 변수로 적용하기 때문에 예측

정확도를 높일 수 있다는 기대를 갖게 하는 모형이다.

또한, 중력모형은 완전한 O-D표가 없어도 적용이 가능한 장점을 가지고 있지만, 다음과 같은 한계점이 있다(Dickey, 1983).

첫째, 통행에 마찰인자로 적용하는 존 간의 통행시간, 통행거리, 통행의 금전비용 등은 기준년도의 값을 목표년도에도 동일한 값으로 가정 하는데, 이러한 가정은 현실적으로 한계를 가질 수밖에 없다.

둘째, 존 사이의 통행시간은 하루 중에도 시간대별로 많은 차이가 있음에도 불구하고, 하나의 출발지-목적지 존 페어(O-D Zone Pair)의 통행시간은 동일한 것으로 가정함으로써 정확한 통행분포 예측에 한계를 가진다.

셋째, 일반적으로 중력모형은 원거리 존간 통행량은 과소 예측되고, 근거리 존간의 통행량은 과대하게 예측되는 경향이 있다.

중력모형의 연구는 국내외에서 상당히 많이 이루어지고 있는데, 계수추정의 효율성을 높이기 위한 연구들(Goncalves et al., 2001; Giles et al., 1981; Halleford et al., 1986; Kim, 1996; Lim et al., 1996)과 모형 개선을 통한 장래 통행분포량의 예측정확도 향상에 관한 연구들(Goncalves et al., 2001; Ryu, 2006; Kim, 2006; Lim, 2011)로 분류할 수 있다.

개재기회모형, 경쟁기회모형, 엔트로피모형 등의 확률모형은 1990년대 이후 연구가 약화되었으며, 실무에서도 거의 적용되지 않고 있다.

실무에서의 장래 통행분포 예측은 대부분 성장인자모형과 중력모형을 사용하고 있는데, 이는 단기(短期) 목표년도에서는 성장인자모형의 예측정확도가 높고, 장기(長期) 목표년도에서는 중력모형의 예측정확도가 높다는 통상적인 인식에 의한 결과로 해석된다.

본 연구에서는 이와같은 통상적인 통행분포 예측모형 선택 인식의 타당성을 검증하고, 예측모형간 예측정확도 차이를 비교하는데 목적을 두었다.

2. 연구 방법

본 연구는 단기 목표년도 및 장기 목표년도의 통행분포를 예측할 때, 분석 존(TAZ)이 몇 개 행정동을 합한 중존인 경우에서 예측모형별 정확도 비교와 분석 존이 행정구 단위 정도인 대존에서 예측모형별 정확도 비교를 행한다.

연구를 위한 사례지역은 사람통행실태조사에 의한 실적 O-D자료가 과거 3개 연도 이상 있으면서 가장 오래

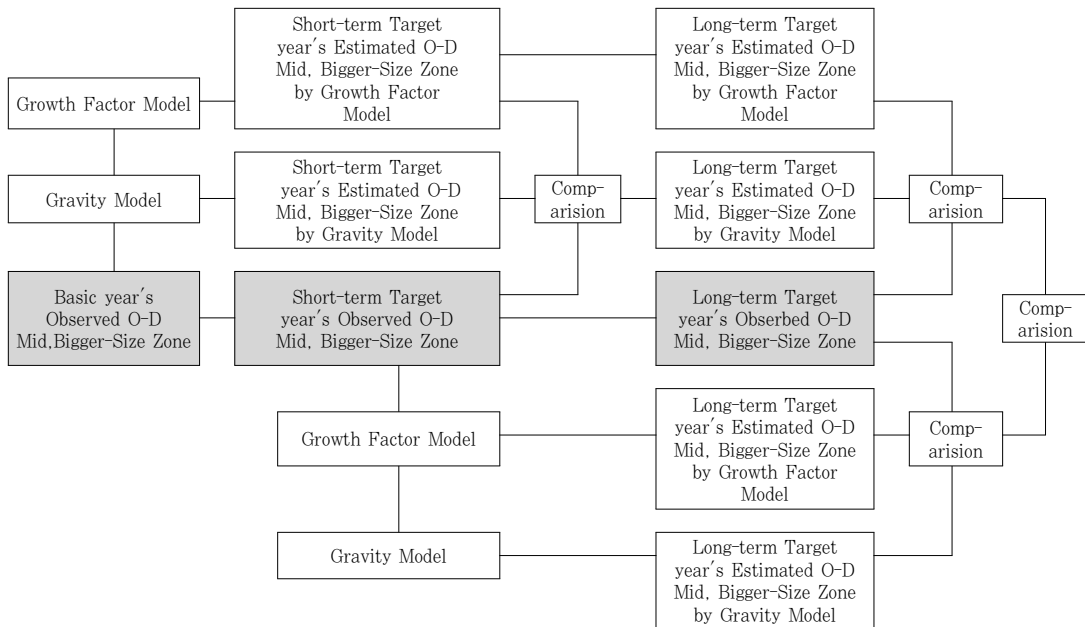


Figure 1. Process of Research

된 O-D표(기준년도 O-D표)로부터 단기 목표년도(5년 전후)로 볼 수 있는 연도의 O-D표, 그리고 장기 목표년도(10년 이상)로 볼 수 있는 연도의 O-D표가 있는 도시를 선정한다.

기준년도 O-D표로부터 중존 및 대존의 중력모형을 구축하고, 단기 목표년도와 장기 목표년도의 예측을 행한다. 성장인자모형으로도 두 개 목표년도의 예측을 중존과 대존에서 행한다.

각 예측모형별로 예측된 결과(예측 O-D표)를 각 목표년도의 실측 O-D표와 비교한다.

그리고 단기 목표년도의 실측 O-D표를 다시 기준년도 O-D표로 하여 장기 목표년도의 존 규모별, 예측모형별로 통행분포 예측을 행한다. 각 예측 모형에 의한 예측 결과들을 서로 비교하여 통상적으로 통행분포 예측시 적용하는 예측모형의 적용 타당성을 검증한다.

예측모형은 확률모형을 제외하고, 성장인자모형과 중력모형을 적용한다. 성장인자모형에서는 특성이 서로 다르다고 볼 수 있는 Fratar모형과 균일 성장인자모형 그리고 평균 성장인자모형으로 적용하고 예측결과를 실측 통행분포량과 비교한다.

중력모형은 기본 중력모형을 적용하는데, 마찰인자존 간의 실거리를 적용하는 모형과 존 간의 시간거리를 적용하는 모형, 두 모형으로 적용하고, 예측결과를 실측

과 비교한다.

Figure 1에서 연구과정을 나타내었다.

II. 통행분포 예측모형

1. 성장인자모형

1) Fratar모형

Fratar모형은 발생 존의 유출 통행량과 도착 존의 유입 통행량에서 상대적 연결도($X_{ij} / \sum_{j=1}^n X_{ij}$, $X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij}$)의 평균 값에 발생 존 유출 통행량 성장율($FO_i = O_i/o_i$)과 도착 존 유입 통행량 성장률($FD_j = D_j/d_j$)을 곱하여 장래 통행분포량(\widehat{X}_{ij})을 예측 하는 것으로 식(1)-식(3)과 같다.

$$\widehat{X}_{ij} = x_{ij} FO_i FD_j (LO_i + LD_j)/2 \tag{1}$$

$$LO_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} / \sum_{j=1}^n (x_{ij} FD_j) \tag{2}$$

$$LD_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} / \sum_{i=1}^n (x_{ij} FO_i) \tag{3}$$

여기서, \widehat{X}_{ij} : 목표년도 i 존에서 j 존의 예측통행량
 x_{ij} : 기준년도 i 존에서 j 존의 통행량

FO_i : i 존 유출통행량
 FO_j : j 존 유입통행량

III. 사례지역과 통행분포 자료

2) 균일 성장인자모형

균일 성장인자모형은 식(4)에서 나타난 것과 같이 가장 간단한 구조를 가지는 것으로, 총 통행량의 증가율 ($F = T/t$, T : 목표연도의 총 통행량, t : 기준 연도의 총 통행량)을 기준년도 통행분포량에 곱하여 장래 통행분포량을 예측한다.

$$\widehat{X}_{ij} = x_{ij} F \quad (4)$$

3) 평균 성장인자모형

평균 성장인자모형은 장래 통행분포량은 유출통행량 증가율(FO_i)과 유입통행량 증가율(FD_j)의 평균 증가율에 비례하여 증가한다고 가정하여 예측하는 것으로, 식(5)와 같다.

$$\widehat{X}_{ij} = x_{ij} \frac{(FO_i + FD_j)}{2} \quad (5)$$

2. 중력모형

중력모형은 “존 i 에서 존 j 로 향하는 통행량은 존 i 에서의 유출통행량과 존 j 로의 유입통행량에 비례하고, 두 존 간의 거리(Traffic Impedance)에 반비례한다”는 기본구조를 가지고 K , α , β , γ 등의 계수 값 추정을 통해 예측모형을 구축한다. 중력모형의 기본 구조는 식(6)에서 나타내었다.

$$X_{ij} = K \frac{O_i^\alpha \cdot D_j^\beta}{C_{ij}^\gamma} \quad (6)$$

\widehat{X}_{ij} : 목표연도 i 존에서 j 존으로의 예측통행량

O_i : 목표연도 i 존의 유출통행량

D_j : 목표연도 j 존의 유입통행량

C_{ij} : 존 i, j 간 마찰인자

K, α, β, γ : 계수

본 연구에서 중력모형을 적용한 예측은 마찰인자(C_{ij})를 실거리로 하는 것과 시간거리로 하는 것 두가지로 하였다.

연구를 위한 사례지역은 대구시로 하였고, 1988년 O-D표와 1992년 O-D표, 그리고 2004년 O-D표를 이용하였다.

3개 연도의 O-D표는 각 연도마다 사람통행실태조사를 실시하고 그 결과를 전수화한 O-D표이다. 본 연구에서는 이 O-D표들을 실측 O-D표라고 칭하는 것으로 한다.

O-D표에서 존 분류는 중존과 대존으로 하였는데, 중존은 복수개의 행정동을 묶어 33개로 하였고, 대존은 7개의 행정구로 하였다.

Table 1에서 세 개 연도의 사람통행실태조사 전수화 후, 집계된 결과를 나타내었는데, 인구 증가에 비해 통행량의 증가가 더 커지는 경향을 보였다.

Table 1. Result of prson trip survey

section		Year			Average Annual Increase
		1988	1992	2004	
Population	Total	2,239,418	2,255,666	2,388,575	0.4%
	Bigger-size Zone	319,917	322,238	341,225	
	Mid-size Zone	67,861	68,354	72,381	
Total Trip (Trip/Day)	Total	4,062,947	4,455,006	4,830,495	1.1%
	Bigger-size Zone	580,421	636,429	690,071	
	Mid-size Zone	123,120	135,000	146,379	
Trip/Person/Day		1.81	1.98	2.02	0.7%

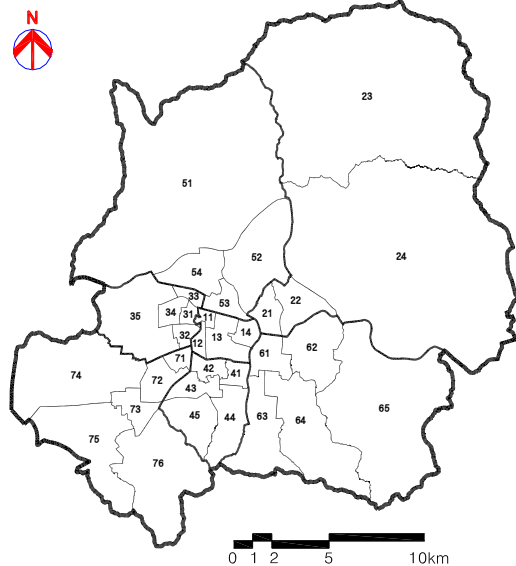


Figure 2. Zone map

Figure 2.에서는 존 경계를 나타내었는데, 굵은 선이 대존의 경계선이고, 가는 선이 중존의 경계선이다.

IV. 목표년도별 예측모형의 정확도 비교

1. 예측 정확도의 비교방법

각 예측모형별 정확도의 비교는 우선 1988년 O-D표를 기준년도 O-D표로 하고 단기목표년도로 볼 수 있는 1992년과 장기 목표년도로 볼 수 있는 2004년 통행분포를 예측한다.

예측은 중존과 대존별로 중력모형과 성장인자모형을 적용하여 행한다(1차). 그리고 다시 1992년 O-D표를 기준년도 O-D표로 하여 2004년 통행분포 예측을 존 구별, 예측모형별로 적용하여 행한다(2차).

예측된 존 간 통행분포량과 기준년도의 실측 통행분포량 간의 비교를 통계량으로 행하는데, 통계량은 예측 정확도의 평가에 많이 이용되는 통계량 중에서 타 모형에 의한 예측결과와 비교가 용이한 상관계수, PRMSE(백분평균제곱근 측정), PSD(백분표준편차측정), Theil의 부등계수 등을 선택 하였다. PRMSE와 PSD, Theil 부등계수는 값이 작을수록 예측 정확도가 높은 것이며, 상관계수는 1.0을 넘지 않으나, 값이 클수록 예측 정확도가 높은 것이다.

$$\text{상관계수}(r) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\widehat{X}_{ij} - \overline{\widehat{X}_{ij}})(X_{ij} - \overline{X_{ij}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\widehat{X}_{ij} - \overline{\widehat{X}_{ij}})^2 \sum_{k=1}^n (X_{ij} - \overline{X_{ij}})^2}} \quad (7)$$

X_{ij} : 실측 통행분포량

\widehat{X}_{ij} : 모형에서의 추정 통행분포량

$$PRMSE = 100 \times \frac{\sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\widehat{X}_{ij} - X_{ij})^2}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\widehat{X}_{ij} - X_{ij})} \quad (8)$$

$$PSD = 100 \times \frac{1/n^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|\widehat{X}_{ij} - X_{ij}|)}{1/n^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} \quad (9)$$

Theil의 부등계수(U) =

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \widehat{X}_{ij})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 + \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \widehat{X}_{ij}^2}} \quad (10)$$

2. 중력모형 구축

중력모형은 1차 기준년도인 1988년 실측 O-D표와 2차 기준년도인 1992년 실측 O-D표를 이용하여 구축하였는데, 마찰저항을 존 간 거리(존 중심점간 실거리)로 한 것과 존 간 소요시간(존 간 수단별 가중평균 통행시간)으로 한 것을 각각 구축하였다.

중력모형의 계수(α, β, γ)는 기준년도 O-D표로부터 중력모형 관계를 식(11)과 같이 설정하고, 식(12)와 같이 대수전환(Log transformation)을 한 후, 최소자승법으로 추정하였다.

$$\widehat{x}_{ij} = K \frac{o_i^\alpha \cdot d_j^\beta}{c_{ij}^\gamma} \quad (11)$$

$$\ln \widehat{x}_{ij} = \ln K + \alpha \ln o_i + \beta \ln d_j - \gamma \ln c_{ij} \quad (12)$$

\widehat{x}_{ij} : i존에서 j존으로의 통행분포량

O_i : i존의 유출통행량

d_j : j존의 유입통행량

C_{ij} : i, j존 간 마찰인자

K, α, β, γ : 계수

구축된 중존의 중력모형 계수와 설명력은 Table 2에서 나타내었고, 대존의 중력모형 계수와 설명력은 Table 3에서 나타내었다. 구축된 모형의 설명력(R^2)은 중존의 모형에서는 61-78%정도 이며, 대존의 중력모형에서는 44-57%정도로 산출되었다.

대존의 설명력은 60%이하로 높지 않으나, 전목적 통행에서 구축된 것을 고려하면 분포통행량 예측을 위한 적용에 큰 무리는 없는 것으로 판단된다.

중존에서는 1996년을 기준년도로 하여 구축된 중력모형의 설명력이 1988년을 기준년도로 하여 구축된 중력모형의 설명력보다 높게 분석되었다.

대존에서는 1992년을 기준년도로 한 중력모형의 설명력이 1988년을 기준년도로 한 중력모형의 설명력보다 조금 낮은 것으로 분석되었다.

3. 단기 목표연도에서의 예측 정확도

1) 중존 통계량

기준년도인 1988년 O-D표로부터 단기 목표연도인

Table 2. Parameters of mid-size zone

Base Year	Impedance	K	α	β	γ	R^2
1988	Shortest Road Distance(km)	9.17×10^{-7}	0.977	0.958	0.655	61.0%
	Trip Time(min)	11.48×10^{-7}	0.957	0.977	0.537	64.2%
1992	Shortest Road Distance(km)	5.96×10^{-8}	1.103	1.088	0.954	78.2%
	Trip Time(min)	4.39×10^{-7}	1.032	1.023	0.823	75.2%

Table 3. Parameters of bigger-size zone

Base Year	Impedance	K	α	β	γ	R^2
1988	Shortest Road Distance(km)	1.1912×10^{-5}	0.753	0.973	0.443	55.7%
	Trip Time(min)	7.1×10^{-8}	1.247	0.868	0.341	47.5%
1992	Shortest Road Distance(km)	2.39×10^{-10}	1.224	1.339	0.769	51.3%
	Trip Time(min)	9.34×10^{-11}	1.014	1.664	0.799	44.2%

1992년 통행분포량을 예측하여 통계량을 산출한 결과, 상관계수에서는 실거리를 마찰인자로한 중력모형이 0.831로 가장 높게 산출되었고, 다음으로는 통행시간을 마찰인자

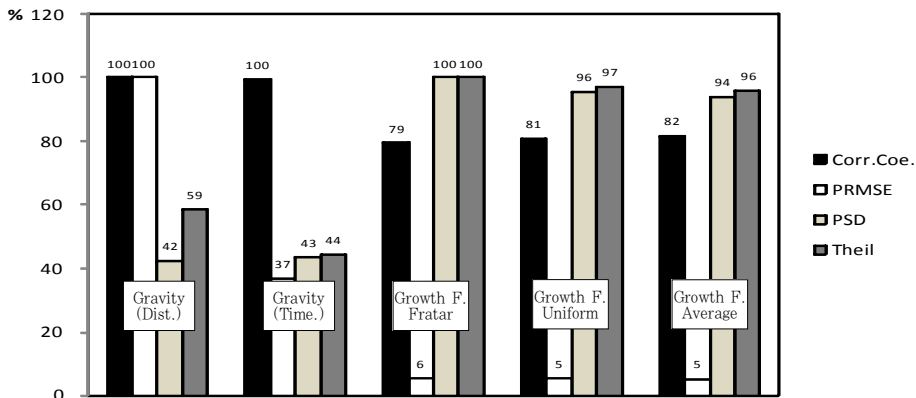
로 한 중력모형이 0.827로 산출되었다. 성장인자모형의 상관계수는 0.66-0.678의 범위로 산출되어 중력모형보다는 낮은 것으로 분석되었다.

PRMSE는 성장인자모형이 중력모형보다 좋은 결과를 내었으나, PSD와 Theil 부등계수에서는 비교적 큰 차이로 중력모형의 적용이 높은 정확도를 가지는 것으로 분석되었다.

통계량 비교는 각 예측모형별 분석결과에서 가장 높은 값을 기준으로 비율로써 산정하여 보았다. 상관계수에서는 100%로 계산된 예측모형이 가장 예측 정확도가 높으며, PRMSE, PSD, Theil 부등계수는 100%가 가장 낮은 예측 정확도를 가지는 것으로 해석할 수 있다.

Figure 3에서 단기목표연도 중순단위에서의 예측모형별 예측결과 통계량을 백분율로 비교하였다. 통계량별로 통계량 백분율을 이용하여 예측모형별 순위를 산정하고, 이를 이용하여 예측모형 우수 순위를 산정하였다.

분석결과, 단기 목표연도에서 중순에서의 통행분포량 예측은 중력모형의 예측 정확도가 성장인자 모형의 정확도 보다 높은 것으로 분석되었다. PRMSE 통계량은 성장인자모형의 정확도가 높은 것으로 분석되었고, 그 외, 상관계수와 PSD, Theil의 부등계수에서는 중력모형의 예측 정확도가 높은 것으로 분석되었다.



Model		Gravity (Dist.)	Gravity (Time)	Growth F. Fratar	Growth F. Uniform	Growth F. Average	
Priority	Ranking	Corr.Coe.	1	2	5	4	3
		PRMSE	5	4	3	2	1
		PSD	1	2	5	4	3
		Theil	2	1	5	3	4
		Total	1	1	4	3	2

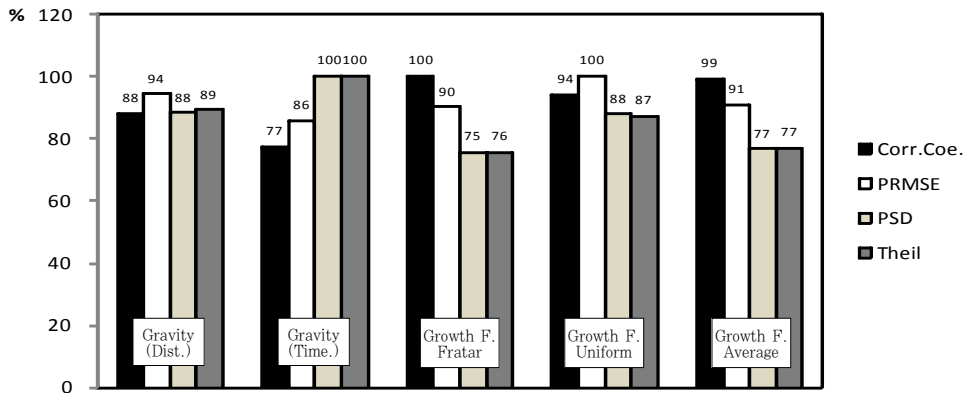
Figure 3. Percentage statistics(short-term target year, mid-size zone)

Table 4. Estimation results(short-term target year, mid-size zone)

Estimation Model		Estimated O-D and Observed O-D Correlation	Stat.	
Gravity Model	Impedance : Shortest Road Distance		Correlation coefficient	0.831
			PRMSE	9.625
			PSD	70.112
			Theil's Inequality Coefficient	0.236
Gravity Model	Impedance : Trip Time		Correlation coefficient	0.827
			PRMSE	3.543
			PSD	72.215
			Theil's Inequality Coefficient	0.197
Growth Factor Model	Fratrar Model		Correlation coefficient	0.660
			PRMSE	0.537
			PSD	166.147
			Theil's Inequality Coefficient	0.403
	Uniform Factor Model		Correlation coefficient	0.671
			PRMSE	0.519
			PSD	158.907
			Theil's Inequality Coefficient	0.391
Average Factor Model		Correlation coefficient	0.678	
		PRMSE	0.513	
		PSD	155.819	
		Theil's Inequality Coefficient	0.386	

Table 5. Estimation results(short-term target year, bigger-size zone)

Estimation Model		Estimated O-D and Observed O-D Correlation	Stat.	
Gravity Model	Impedance : Shortest Road Distance		Correlation coefficient	0.709
			PRMSE	6.313
			PSD	36.118
			Theil's Inequality Coefficient	0.158
	Impedance : Trip Time		Correlation coefficient	0.624
			PRMSE	5.734
			PSD	40.912
			Theil's Inequality Coefficient	0.177
Growth Factor Model	Fratar Model		Correlation coefficient	0.806
			PRMSE	6.038
			PSD	30.879
			Theil's Inequality Coefficient	0.134
	Uniform Factor Model		Correlation coefficient	0.759
			PRMSE	6.693
			PSD	35.928
			Theil's Inequality Coefficient	0.154
Average Factor Model		Correlation coefficient	0.799	
		PRMSE	6.087	
		PSD	31.407	
		Theil's Inequality Coefficient	0.136	



Model		Gravity (Dist.)	Gravity (Time)	Growth F. Fratar	Growth F. Uniform	Growth F. Average	
Priority	Ranking	Corr. Coe.	4	5	1	3	2
		PRMSE	4	1	2	5	3
		PSD	4	5	1	3	2
		Theil	4	5	1	3	2
		Total	4	4	1	3	2

Figure 4. Percentage statistics(short-term target year, bigger-size zone)

2) 대존 통계량

단기목표연도에서 대존으로 예측한 경우, 중력모형은 상관계수가 0.709, 0.624로 산출되었고, 성장인자모형에서는 0.759-0.806으로 산출되어, 성장인자모형의 예측 정확도가 중력모형의 예측 정확도 보다 높은 것으로 분석 되었다.

PRMSE는 중력모형이 6.313, 5.734로 산출되었고, 성장인자모형은 6.038-6.693의 범위로 산출되었다.

PSD는 중력모형이 36.118, 40.912로 산출되었고 성장인자모형이 30.879-35.928로 산출되었다.

Theil의 부등계수는 중력모형이 0.158, 0.177로 산출되었고, 성장인자모형은 0.134-0.154로 산출되어 성장인자모형의 예측 정확도가 성장인자모형의 예측 정확도에 비해 높은 것으로 나타났다.

대존에서 단기 목표연도 통행분포량 예측의 예측모형별 예측 정확도 비교는 Figure 4에서 나타내었다.

대존에서는 단기 목표연도 예측시 성장인자모형의 예측 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 존 간 통행시간을 마찰인자로 한 중력모형의 예측결과는 PRMSE 통계량에서는 가장 좋은 것으로 산출 되었다.

성장인자모형 중에서는 Fratar모형의 예측 정확도가 가장 높은 것으로 분석되었다.

4. 장기 목표연도에서의 예측 정확도

장기목표연도에 대한 예측모형의 예측 정확도 분석은 1988년을 기준년도로하여 2004년 통행분포량을 예측한 것을 1차로 하고, 다시 1992년을 기준년도로 하여 2004년을 예측한 것을 2차로 하여 행하였다.

1) 중존 통계량

(1) 1차 통계량

중존에서 1988년 O-D표를 이용하여 2004년의 통행분포량을 예측한 결과, 중력모형에서의 상관계수는 0.831, 0.8로 산출되었고, 성장인자모형에서는 Fratar모형이 0.109, 균일 성장인자모형이 0.524, 평균 성장인자모형에서 0.649로 산출되었다. Fratar모형에 의한 예측 통계량은 실측 통계량과는 상관성이 없는 것으로 분석되었는데, 이는 수렴계산 종료가 적정하지 않았던 것으로 판단된다.

PRMSE, TSD, Theil의 부등계수에서도 상관계수에서의 결과와 비슷한 결과가 산출되었다.

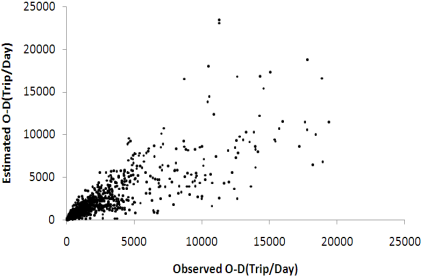
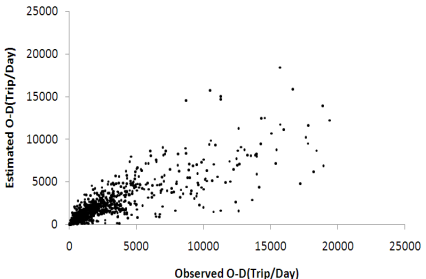
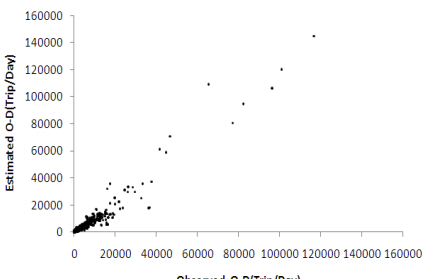
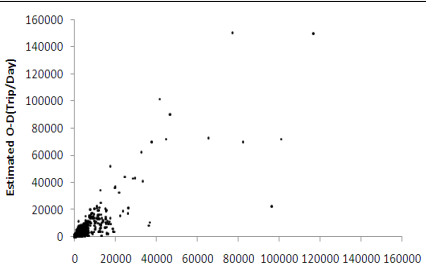
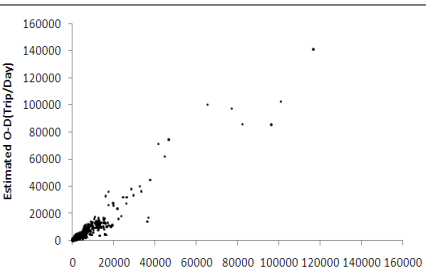
장기 분포통행량 예측의 1차 통계량 비교는 Figure 5에서 나타낸 바와 같다.

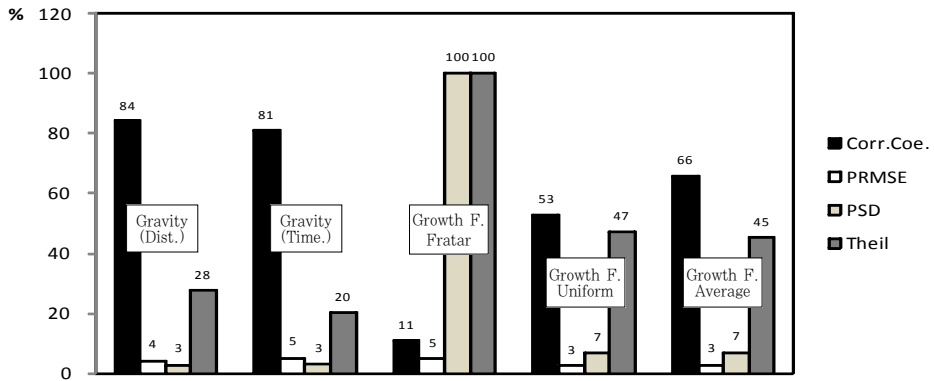
비교결과, 중존에서는 장기 목표연도일 경우, 중력모

Table 6. Estimation results(long-term target year, mid-size zone, 1988base year)

Estimation Model		Estimated O-D and Observed O-D Correlation	Stat.	
Gravity Model	Impedance : Shortest Road Distance		Correlation coefficient	0.831
			PRMSE	0.930
			PSD	78.261
			Theil's Inequality Coefficient	0.257
Gravity Model	Impedance : Trip Time		Correlation coefficient	0.800
			PRMSE	1.128
			PSD	83.520
			Theil's Inequality Coefficient	0.188
Growth Factor Model	Fratar Model		Correlation coefficient	0.109
			PRMSE	1.103
			PSD	2612.586
			Theil's Inequality Coefficient	0.932
Growth Factor Model	Uniform Factor Model		Correlation coefficient	0.524
			PRMSE	0.604
			PSD	182.473
			Theil's Inequality Coefficient	0.439
Growth Factor Model	Average Factor Model		Correlation coefficient	0.649
			PRMSE	0.622
			PSD	187.260
			Theil's Inequality Coefficient	0.422

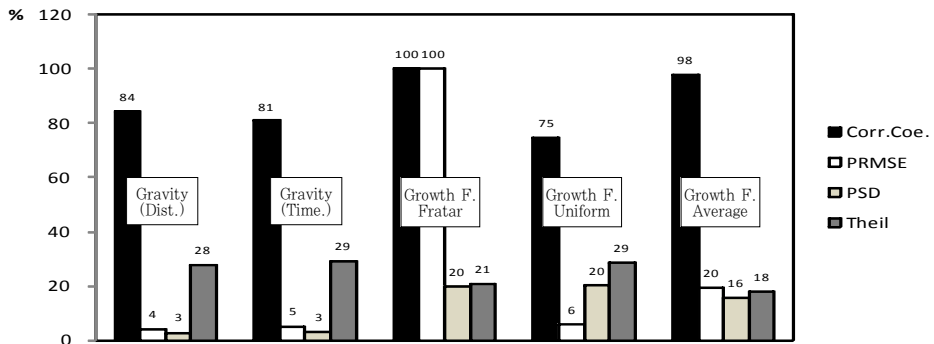
Table 7. Estimation results(long-term target year, mid-size zone, 1992base year)

Estimation Model		Estimated O-D and Observed O-D Correlation	Stat.	
Gravity Model	Impedance : Shortest Road Distance		Correlation coefficient	0.832
			PRMSE	0.921
			PSD	78.467
			Theil's Inequality Coefficient	0.258
Gravity Model	Impedance : Trip Time		Correlation coefficient	0.799
			PRMSE	1.119
			PSD	83.722
			Theil's Inequality Coefficient	0.274
Growth Factor Model	Fratar Model		Correlation coefficient	0.988
			PRMSE	21.205
			PSD	514.476
			Theil's Inequality Coefficient	0.193
	Uniform Factor Model		Correlation coefficient	0.739
			PRMSE	1.246
			PSD	528.105
			Theil's Inequality Coefficient	0.268
Average Factor Model		Correlation coefficient	0.968	
		PRMSE	4.160	
		PSD	410.185	
		Theil's Inequality Coefficient	0.167	



Model		Gravity (Dist.)	Gravity (Time)	Growth F. Fratar	Growth F. Uniform	Growth F. Average	
Priority	Ranking	Corr. Coe.	1	2	5	4	3
		PRMSE	3	5	4	1	2
		PSD	1	2	5	3	4
		Theil	2	1	5	4	3
		Total	1	2	5	3	3

Figure 5. Percentage statistics(longt-term target year, mid-size zone, 1988base year)



Model		Gravity (Dist.)	Gravity (Time)	Growth F. Fratar	Growth F. Uniform	Growth F. Average	
Priority	Ranking	Corr. Coe.	3	4	1	5	2
		PRMSE	1	2	5	3	4
		PSD	1	2	4	5	3
		Theil	3	5	2	4	1
		Total	1	4	3	5	2

Figure 6. Percentage statistics(longt-term target year, mid-size zone, 1992base year)

형이 성장인자모형에 비하여 높은 예측 정확도를 가지는 것으로 분석되었다.

(2) 2차 통계량

1992년을 기준년도로 해서 2004년 통행분포량을 중준으로 예측한 결과, 전체적으로 1차에서 보다 더 높은

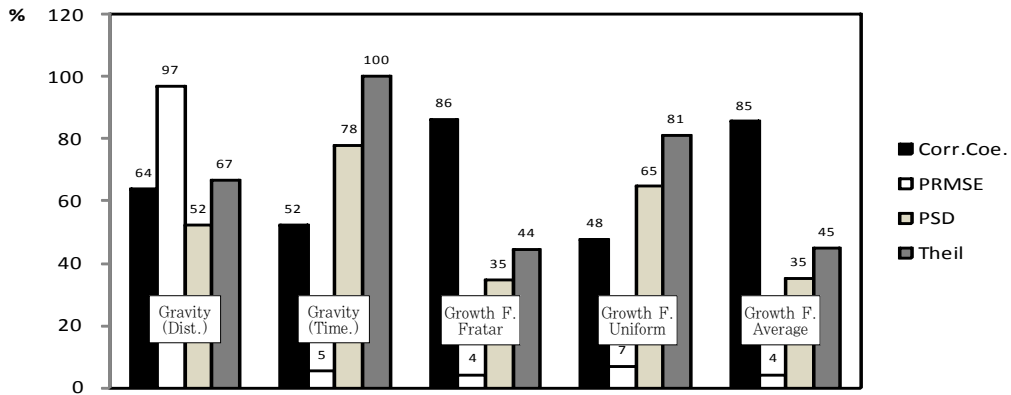
예측정확도를 가지는 것으로 분석되었다.

상관계수는 중력모형이 0.832, 0.799로 산출되었고, 성장인자모형에서의 상관계수는 균일 성장인자모형이 0.739, 평균 성장인자모형과 Fratar모형은 0.968, 0.988로 높게 산출되었다.

PRMSE는 거의 유사하나, 중력모형이 약간 더 예측

Table 8. Estimation results(long-term target year, bigger-size zone, 1988base year)

Estimation Model		Estimated O-D and Observed O-D Correlation	Stat.	
Gravity Model	Impedance : Shortest Road Distance		Correlation coefficient	0.638
			PRMSE	6.482
			PSD	43.595
			Theil's Inequality Coefficient	0.85
Gravity Model	Impedance : Trip Time		Correlation coefficient	0.524
			PRMSE	5.502
			PSD	64.852
			Theil's Inequality Coefficient	0.277
Growth Factor Model	Fratar Model		Correlation coefficient	0.860
			PRMSE	4.437
			PSD	28.890
			Theil's Inequality Coefficient	0.123
Growth Factor Model	Uniform Factor Model		Correlation coefficient	0.476
			PRMSE	6.998
			PSD	53.967
			Theil's Inequality Coefficient	0.225
Growth Factor Model	Average Factor Model		Correlation coefficient	0.854
			PRMSE	4.470
			PSD	29.320
			Theil's Inequality Coefficient	0.125



Model		Gravity (Dist.)	Gravity (Time)	Growth F. Fratar	Growth F. Uniform	Growth F. Average	
Priority	Ranking	Corr. Coe.	3	4	1	5	2
		PRMSE	4	3	1	5	2
		PSD	3	5	1	4	2
		Theil	3	5	1	4	2
		Total	3	4	1	5	2

Figure 7. Percentage statistics(long-term target year, bigger-size zone, 1988base year)

정확도가 높은 것으로 분석되었고, Theil의 부등계수는 중력모형과 성장인자모형에서의 통계량 결과가 거의 유사하며, PSD는 성장인자모형이 410.155-528.105으로 산출되어 높은 반면, 중력모형에서는 78.467, 83.722로 산출되었다.

2차 분석 통계량의 예측모형별 비교는 Figure 6에서 나타내었다.

중존에서 1992년 O-D표로 2004년 O-D를 예측한 결과, 중력모형과 성장인자모형의 예측 정확도는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

2) 대존 통계량

(1) 1차 통계량

대존에서 1988년을 기준년도로하고, 2004년을 목표 연도로 하여 분포통행량 예측을 행한 결과, 중력모형의 상관계수는 0.638, 0.524로 산출되었으며, 성장인자모형은 균일 성장인자모형이 0.476로 낮게 산출되었고, Fratar모형, 평균 성장인자모형에서는 0.896, 0.854로 비교적 높게 산출되었다.

PRMSE는 중력모형이 6.482, 5.502로 산출되었고, 성장인자모형은 4.437-6.998로 산출되었다. PSD는 중력모형이 43.595, 64.852로 산출되었으며, 성장인자모형은 28.89-53.967범위로 산출되었다. Theil의 부

등계수는 중력모형이 0.185, 0.277로 산출되었고, 성장인자모형은 0.123-0.225의 범위로 산출되었다.

분석된 백분위통계량은 Figure 7에서 나타내었다.

분석결과, 성장인자모형의 예측 정확도가 중력모형의 예측 정확도보다 높은 것으로 나타났다. 균일 성장인자모형의 경우는 예측 정확도가 낮게 나타났는데, 이는 목표연도가 너무나 멀고, 총통행량의 증가비율만을 적용함에 따른 것으로 판단된다.

(2) 2차 통계량

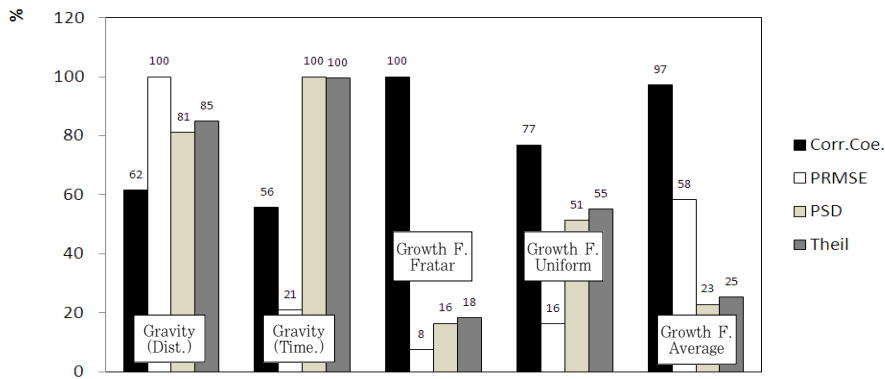
대존으로 1992년을 기준년도로 해서 2004년의 통행 분포량을 예측하였는데, 상관계수는 중력모형이 0.601, 0.543으로 산출되었고, 성장인자모형에서는 0.749-0.975로 산출되었다.

PRMSE는 중력모형이 101.962, 21.345로 산출되었고, 성장인자모형은 7.662-59.569 범위로 산출되었다. PSD는 중력모형이 54.659, 67.349로 산출되었고, 장인자모형은 Fratar모형에서 11.108로 가장 좋게 산출되었고, 균일 성장인자모형은 34.602, 평균 성장인자모형은 15.427로 산출되었다.

Theil의 부등계수는 중력모형에서 0.235, 0.276으로 산출되었으나, 성장인자모형중 균일 성장인자모형은 0.153, 평균성장인자모형은 0.166으로 낮게 산출되었다.

Table 9. Estimation results(long-term target year, bigger-size zone, 1992base year)

Estimation Model		Estimated O-D and Observed O-D Correlation	Stat.	
Gravity Model	Impedance : Shortest Road Distance		Correlation coefficient	0.601
			PRMSE	101.962
			PSD	54.659
			Theil's Inequality Coefficient	0.235
Gravity Model	Impedance : Trip Time		Correlation coefficient	0.543
			PRMSE	21.345
			PSD	67.349
			Theil's Inequality Coefficient	0.276
Growth Factor Model	Fratar Model		Correlation coefficient	0.975
			PRMSE	7.662
			PSD	11.108
			Theil's Inequality Coefficient	0.051
Growth Factor Model	Uniform Factor Model		Correlation coefficient	0.749
			PRMSE	16.656
			PSD	34.602
			Theil's Inequality Coefficient	0.153
Growth Factor Model	Average Factor Model		Correlation coefficient	0.946
			PRMSE	59.569
			PSD	15.427
			Theil's Inequality Coefficient	0.166



Model		Gravity (Dist.)	Gravity (Time)	Growth F. Fratar	Growth F. Uniform	Growth F. Average	
Priority	Ranking	Corr. Coe.	4	5	1	3	2
		PRMSE	5	3	1	2	4
		PSD	4	5	1	3	2
		Theil	4	5	1	3	2
		Total	4	5	1	3	2

Figure 8. Percentage statistics(long-term target year, bigger-size zone, 1992base year)

2차 통계량 예측모형의 우선순위는 Figure 8에서 나타내었다.

대손의 2차 통계량 비교에서는 장기 목표연도에서 중력모형의 예측 정확도가 성장인자모형의 예측 정확도 보다 낮은 것으로 분석되었다. 성장인자모형 중에서는 Fratar모형에서의 예측정확도가 가장 좋게 분석되었다.

5. 전체 예측 정확도 정리

통행분포 예측을 대손에서 행하는 경우 목표연도의 기간에 관계없이 성장인자모형이 중력모형에 비해 정확도가 높은 것으로 분석되었는데, 이는 존규모가 작을수록 토지이용의 변화 등에 따라 통행분포량 변화가 민감하게 발생하나, 존 규모가 크면 작은 지역에서 토지이용 변화에 따른 유출, 유입 통행량 변화가 존 내부로 흡수되기 때문인 것으로 판단된다.

소수 행정동을 합한 규모인 중존의 경우는 단기 목표연도 예측에서는 성장인자모형보다 중력모형이 더 높은 예측정확도를 가지는 것으로 분석되었는데, 이는 작은 규모 존에서의 통행분포량에 영향을 주는 유출통행량과 유입통행량, 그리고 존간 마찰인자를 변수로 하여 예측하기 때문에 성장률만을 적용하는 성장인자모형보다는 높은 예측정확도를 가질 수 있기 때문으로 판단된다.

중존으로 장기 예측의 경우는 목표연도 기간에 따라

서 예측 모형별로 약간 다른 예측 정확도가 분석 되었다. 1988년을 기본연도로 해서 2004년을 목표연도로 한 경우(1차)는 중력모형의 예측정확도가 성장인자모형에 비해 좋은 것으로 분석되었으나, 1992년을 기준연도로 하고, 2004년을 목표연도로 한 경우(2차)에서는 성장인자모형도 비교적 좋은 예측 정확도를 나타 내었다. 이는 목표연도까지 크게 길지가 않고, 각 존의 유출, 유입통행량 성장률이 안정적(유출통행량 증가율 표준편차: 1.055, 유입통행량 증가율 표준편차: 1.005)이었기 때문인 것으로 판단된다.

V. 결론

통행수요예측에서 통행분포 예측을 행할 때, 통상적으로 단기 목표연도에서는 성장인자모형의 예측 정확도가 높고, 장기 목표연도에는 중력모형의 예측 정확도가 높다는 인식으로부터 모형을 적용하여 왔다.

본 연구는 기존의 통행분포 예측모형에 대한 선택 인식의 타당성 검정을 목적으로 수행하였는데, 대구시 과거 3개 연도의 사람통행실태 조사로부터 구축된 실제 O-D표를 이용하여 성장인자모형과 중력모형의 예측 정확도를 비교하였다.

O-D표들은 1988년과 1992년 그리고 2004년에 구축된 O-D표이며, 1988년을 기준연도로 하였고, 1992년을 단기목표연도, 2004년을 장기목표연도로 하였다. 그리고

다시 1992년을 기준년도로 하여 2004년을 예측하였다.

중력모형은 마찰인자를 존간 실거리로 한 경우와 존간 소요시간으로 한 경우, 두가지로 적용하였으며, 성장인자모형은 Fratar모형, 균일 성장인자모형, 평균 성장인자모형을 적용하였다.

분석 존은 행정구 단위인 대존과 행정동을 3-4개로 합한 중존, 두가지로 하였다.

통행분포 예측모형별 예측 통행분포량과 실측 통행분포량의 예측 정확도 비교를 위한 통계량은 상관계수, PRMSE, PSD, Theil의 부등계수 등을 이용하였다.

연구 결과, 통상적인 인식과는 다르게, 단기목표연도에서 중력모형의 예측 정확도가 높을 수 있으며, 반대로 장기 목표연도에서 성장인자 모형의 예측 정확도가 높을 수 있다는 사실이 밝혀졌다.

또한, 목표연도만이 아니라 존 규모에 따라서도 예측 모형의 예측 정확도가 달라질 수 있다는 것이 밝혀졌다.

분석 결과로부터 볼 때, 존 규모가 작을수록 존 수는 증가하고, 토지이용 변화에 따른 통행량의 변화가 민감하게 되므로 각 존 페어 간에 각기 다른 특성변수(마찰인자)를 적용하는 모형이 예측 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 각 존별 유출, 유입통행량 증가율이 존 간에 큰 차이가 없을 경우(각 존에서 토지이용 변화가 크지 않을 경우)에는 성장인자모형을 적용하여도 좋은 예측 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 대구시의 O-D표들을 이용하여 분석한 것이므로, 사례연구의 예측모형별 예측정확도가 타 도시 O-D표를 기준으로 한 통행분포량 예측에서도 동일한 결과를 얻을 것으로 단정하기에는 무리가 있다.

향후, 통행분포 예측시 존 규모와 목표연도 등의 기본적인 조건에 따라서 정확도가 높은 예측모형을 안정적이고 객관적으로 선택할 수 있는 방안을 연구할 계획이며, 이를 위하여 타 도시 O-D표 등을 추가 분석할 예정이다.

REFERENCES

- Dicky J. W. (1983), Metropolitan Transportation Planning, 2nd Edition, Bristol: Taylor & Francis. p.210.
- Giles D. E. A., Hampton P. (1981), Interval Estimation in the Calibration of Certain Trip Distribution Models, *Transp. Res., Part B*, pp.203-219.
- Goncalves M. B., Cursi J. E. S. (2001), Parameter Estimation in a Trip Distribution Model by Random Perturbation of a Descent Method, *Transp. Res., Part B* 35, pp.137-161.
- Hallefjord Å., Jörnsten K. (1986), Gravity Models with Multiple Objectives Theory and Applications, *Transp. Res., Part B* 20, pp.19-39.
- Kim H. J. (1996), Testing Goodness of Fit of Gravity Models, *J. Korean Soc. Transp., Vol.14, No.1*, Korean Society of Transportation, pp.43-50.
- Lim S. B., Lee B. W. (1996), A Study on the Application of Gravity Model using 1990 Seoul O/D Data, *J. Korean Soc. Transp., Vol.14, No.1*, Korean Society of Transportation, pp.29-42.
- Lim Y. T. (2011), Integrated Trip Distribution/Mode Choice Model and Sensitivity Analysis, *J. Korean Soc. Transp., Vol.29, No.2*, Korean Society of Transportation, pp.81-89.
- Ryu Y. G. (2006), Development of an Improved Gravity Model Using Residuals, *J. Korean Soc. Civil. Engineers., Vol.26, 3D*, pp.417-424.
- Yun D. S. (2001), Transportation Demand Analysis, Pakyoungsa, pp.72-139.

- ✉ 주 작 성 자 : 유영근
- ✉ 교 신 저 자 : 우용한
- ✉ 논문투고일 : 2011. 9. 18
- ✉ 논문심사일 : 2011. 12. 9 (1차)
2012. 6. 27 (2차)
2012. 8. 3 (3차)
2012. 9. 6 (4차)
2012. 10. 5 (5차)
- ✉ 심사판정일 : 2012. 10. 5
- ✉ 반론접수기한 : 2013. 2. 28
- ✉ 3인 익명 심사필
- ✉ 1인 abstract 교정필