

■ 論 文 ■

## 중존단위와 중력모형을 이용한 택지개발사업의 통행분포 예측방법에 관한 연구

A Study on Forecasting Trip Distribution of Land Development Project Using  
Middle Zone Size And Gravity Model

**정 창 용**  
(서울시립대학교 박사과정)

**손 의 영**  
(서울시립대학교 교수)

**김 도 경**  
(서울시립대학교 교수)

— 목 차 —

- |   |   |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 기존 문헌 고찰</p> <p>III. 택지개발사업 지역의 통행분포 분석</p> <p>1. 대존·중존·소존별 통행분포 분석</p> | <p>2. 중존별 통행분포 분석의 적정성</p> <p>IV. 중력모형을 이용한 통행분포의 보정</p> <p>1. 적절한 중력모형의 도출</p> <p>2. 통계적 검증</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

**Key Words :** 통행분포, 택지개발사업, 중력모형, 유발교통, 평균제곱오차법

Trip distribution, Land development project, Gravity model, Generated traffic, Mean Squared Error

— 요 약 —

새로운 대규모의 택지개발사업을 시행하는 경우에는 유발되는 교통량을 해결하기 위하여 적정규모의 교통시설이 건설되어야 하며, 이를 위해서는 무엇보다도 정확한 유발교통량의 예측이 이루어져야 한다. 유발교통량은 통행발생과 통행분포 단계를 통해 추정되는데 통행발생 단계에서는 택지개발사업 내의 시설별 교통유발원단위를 이용함으로써 자세한 발생량의 예측이 가능하다. 반면에 통행분포 단계에서는 대부분의 경우 사업이 위치하는 지역의 사업시행전 통행분포 비율이 시행된 후에도 같다고 가정하는 방법을 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 해당지역의 공간적 범위에 대한 명확한 기준이 없기 때문에 범위설정에서 분석가의 주관적인 의견이 반영될 우려가 있다. 이에 본 연구에서는 해당지역의 공간적 범위를 대존, 중존, 소존 단위로 분석하였으며, 분석결과를 통해 위치 차이가 크게 나타나지 않으면서도 안정적인 통행발생량의 분포를 파악할 수 있는 중존 단위의 통행분포를 이용하는 방법을 제시하였다. 하지만 이러한 중존 단위의 통행분포도 실제 통행분포와 비교하면 어느 정도의 차이가 발생하기 때문에 중존 단위의 통행분포에서 중존과 택지개발사업의 위치 차이를 유출제한중력모형(Production - constrained gravity model)으로 보정하는 방법을 제시하였으며, 보정의 효과는 평균제곱오차(Mean Squared Error)를 사용하여 검토하였다. 본 논문에서 제시한 방법은 수집이 용이한 자료만으로 분석이 가능하면서도 정확한 통행분포의 예측이 가능하여 향후 택지개발사업의 통행분포 예측에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

In case of land development projects constructed, to solve induced transportation volume needs analysis of traffic demand. Trip-generation of land development projects is exactly predicted by using traffic instigating-basic-unit in each facility of land developments. But in case of a phase of trip-distribution, because a range of destinations is very enormous and it needs enormous data to reflect all of its characters, whenever trip-distribution is predicted, the method which assumes the rate of trip-distribution is same both before completion of land development projects and after is often used. But because there is no exact criterion, the method suggested above is also affected by subjective opinion. Accordingly, this study look over using trip-distribution of specific areas's DB and suggests a size of zone to predict a distribution of land development projects exactly. Also production - constrained gravity model which uses the gap between a distribution of suggested ranges and induced land development project is suggested for more exact prediction of trip-distribution. Besides acuracy of prediction is scrutinized by using Mean Squared Error.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

대규모의 새로운 교통유발시설을 건설하는 경우에는 유발되는 교통량을 해결하기 위하여 교통시설의 건설을 필요로 한다. 이러한 교통시설은 적절한 위치에 적당한 규모로 건설되어야만 효과를 극대화할 수 있으며, 이를 위해 교통유발시설의 통행발생과 통행분포는 정확하게 예측되어야 한다. 본 연구에서는 여러 가지 교통유발시설 중에서도 가장 많이 시행되고 있으면서 사업 시행으로 인한 발생량도 매우 크게 나타나는 택지개발사업을 중심으로 분석하였다.

지금까지의 택지개발사업에서 통행발생은 택지개발사업 내에 위치하는 교통유발 시설별 통행발생 원단위를 조사하여 이용함으로써 정확하고 상세한 발생량의 예측이 가능하였다. 통행분포에서 역시 이와 같은 상세한 예측을 위해선 해당지역 뿐만 아니라 도착하는 지역의 모든 사회경제지표를 세분화할 필요가 있다. 또한 택지개발사업 시행에 따른 주변 교통시설의 건설여부 등과 같은 사업지구별 특성들도 통행분포에 영향을 미치므로 고려되어야 한다. 하지만 이 모든 변수를 고려하기 위해선 너무 많은 양의 자료를 필요로 하기 때문에 실제로 택지개발사업의 통행분포를 예측하는 과정에서는 사용되지 못하고 있다.

이러한 이유로 대부분의 택지개발사업에서는 사업시행 전 택지개발사업이 위치하는 존의 통행분포가 사업시행 후에도 동일하다고 가정하는 방법을 사용하고 있으며, 실제로 어느 정도 유사한 것으로 나타나고 있다. 하지만, 이 방법은 사업시행 전 택지개발사업이 위치하는 존의 공간적 범위에 대한 명확한 기준이 없기 때문에, 범위의 선정 시 분석가의 주관적인 의견이 반영될 우려가 있다.

이에 본 연구에서는 사업시행 전 해당지역의 통행분포가 사업시행 후의 택지개발사업과 가장 유사한 통행분포를 나타내는 공간적 범위를 제시하는 것을 첫 번째 목적으로 한다.

또한 이와 같이 제시된 해당지역의 공간적 범위내 통행분포만을 이용하더라도 사업시행 후와 정확하게 일치하지 않게 되므로, 더욱 정확하게 예측하기 위한 보정방법을 제시하는 것을 두 번째 목적으로 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

택지개발사업으로 인한 통행분포의 변화를 분석하기 위해선 택지개발사업이 건설되기 전과 후의 통행분포를 비교하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 사업이 시행되기 이전과 이후의 통행분포를 파악할 수 있는 택지개발사업을 분석대상으로 선정하였다.

통행분포를 분석하기 위한 자료로는 수도권 DB를 사용하였는데, 수도권의 DB는 1996년에 처음으로 제공되었으며 최근에는 4차 자료가 배포되었다. 이에 본 연구에서는 1996년 이후에 건설되었으며 통행분포가 DB에 반영된 수지 2지구와 영통지구, 그리고 동탄지구를 분석대상으로 선정하여 사업시행 전과 후의 통행분포를 분석하였다.

분석대상 택지개발사업이 건설되기 이전인 1996년 대존, 중존, 소존 단위의 통행분포와 건설 후인 2006년의 택지개발사업 통행분포를 분석하여 해당지역의 공간적 범위에 따른 통행분포의 상관관계를 분석하였다.

분석결과를 통하여 택지개발사업의 통행분포와 가장 유사한 통행분포를 나타내는 규모의 사업시행 전 해당지역의 통행분포를 이용하는 방법을 제시하였다. 이와 같이 제시된 방법으로 추정된 통행분포와 실제 사업시행 후의 통행분포를 통계적으로 분석하여 오차가 발생하는 이유를 파악하였으며, 유출제약중력모형을 이용함으로써 이를 보정하는 방법을 제시하였다.

## II. 기존 문헌 고찰

통행분포 모형에 대한 기존 연구를 살펴보면 중력모형과 간섭기회모형을 개선하기 위한 많은 연구가 있었다. 하지만 Goncalves(1993)가 간섭기회 모형은 기회확률값의 추정이 용이하지 못하다는 단점을 지적한 1990년대 중반 이후로는 간섭기회모형에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 최근에도 꾸준히 연구가 진행되고 있는 중력모형을 이용한 통행분포 모형의 개선방법을 살펴보았다.

Stopher & Meyburg(1980)는 실제 교통량과 추정 교통량의 비례식을 이용함으로써 추정식에 포함되지 않은 변수를 표현하기 위한 보정계수( $K_{ij}$ )의 사용방법을 제시하였다. 이와 같은 방법은 실제 교통량에 영향을 주는 변수들에 대한 고려가 가능하지만, 그 요인이 어떤 것

인지를 밝혀내지 못하였기 때문에 장래의 통행분포 예측 시에도 현재의 특성을 그대로 따르는 경우에만 적용이 가능한 한계가 있다.

$$K_{ij} = \frac{T_{ij}^0}{T_{ij}^e} \quad (1)$$

여기서,  $T_{ij}^0$ : i 존에서 j 존으로 통행하는 실측 교통량  
 $T_{ij}^e$ : i 존에서 j 존으로 통행하는 추정 교통량

보정계수를 이용하는 연구는 국내에서도 계속 수행되었다. 임성빈·이부원(1996)은 1990년 서울시 데이터를 이용하여 중력모형을 산정하였으며, 사회·경제적 계수를 회귀모형으로 산출하여 적용하는 방법을 제시하였다.

유선(2001)은 중력모형만으로 정확한 예측이 되지 않는 이유가 지역 간의 의존성 때문으로 판단하였으며, 이를 보정하기 위해 해당지역의 고용자와 취업자수를 이용하여 산정한 의존도( $K_{ij}$ )를 고려하는 방법으로 모형을 제시하였다.

Goncalves & Cursi(2001)의 연구 역시 중력모형만의 한계를 인정하고 새로운 변수를 사용하였다는 점에서 유선(2001)의 연구와 유사하지만, 지역간 의존도가 아닌 거리에 따른 선택기회값을 반영하였다는 점에서 차이가 나타난다.

$$T_{ij} = A_i O_i D_j e^{-\beta c_{ij}} e^{r K_{ij}} \quad (2)$$

여기서,  $T_{ij}$ : 교차통행량  
 $A_i$ : 균형인자  
 $O_i$ : i 지역의 통행유출량  
 $D_j$ : j 지역의 통행유입량  
 $c_{ij}$ : i 지역에서 j 지역으로의 통행비용  
 $K_{ij}$ : i 지역에서 j 지역에 대한 의존도 (유선)  
 간섭기회의 수 (Goncalves & Cursi)

김순관(1998)은 보정계수를 이용하는 방법이 아닌 통행거리를 이용하여 중력모형을 개선하는 방법을 연구하였으며, 통행거리를 그룹화하여 거리 간 가중치( $\Gamma_k$ )를 적용함으로써 오차를 줄이는 방법을 제시하였다.

$$T_{ij} = \Gamma_k A_i B_j O_i D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (3)$$

여기서,  $T_{ij}$  : 교차통행량  
 $O_i$  : i 지역의 통행유출량  
 $D_j$  : j 지역의 통행유입량  
 $c_{ij}$  : i 지역에서 j 지역으로의 통행비용  
 $\Gamma_k$  : i 지역에서 j 지역으로의 통행그룹별  
 균형계수  
 $A_i, B_j$  : 모형에 의해 정산되는 평형계수

김태균(2006)은 지역간 상대적 유인력에 영향을 미치는 요인을 종합적으로 고려하는 방법을 제시하였다. 서울시내를 대상으로 통행분포모형을 분석하였으며 일반적으로 통행분포를 추정하는 방법인 중력모형을 보정하여 개선하는 방법을 사용하였다.

지역간 상대적 유인력( $R_{ij}$ )을 고려하기 위하여 취업자수, 종사자수, 출발지와 도착지 기준에서의 직주비율, 취업자의 노령화를 고려한 지역의 공간특성 요인과 통행방향, 유형별 통행특성을 고려한 지역간 공간적 상호연관성 측면에서 변수를 도입하는 방법을 제시하였다.

하지만 이러한 방법은 상당히 많은 자료를 필요로 하기 때문에 실제 분석에서 사용되기 어려운 단점이 있으며, 실제로 이 연구에서도 자료의 제약으로 서울 시내 25개 구에 대한 분포만으로 분석하였다.

$$T_{ij} = R_{ij} A_i O_i B_j D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (4)$$

여기서,  $T_{ij}$  : 교차통행량  
 $O_i$  : i 지역의 통행유출량  
 $D_j$  : j 지역의 통행유입량  
 $c_{ij}$  : i 지역에서 j 지역으로의 통행비용  
 $R_{ij}$  : i 지역에서 j 지역으로 이동에 따른 지역간 상대적 유인력  
 $A_i, B_j$  : 모형에 의해 정산되는 평형계수

이와 같이 통행분포를 보다 정확하게 예측하기 위한 연구는 국내·외에서 많이 이루어졌다. 하지만, 지금까지의 연구에서는 통행분포 모형을 정확하게 하기 위하여 중력모형에 더 많은 변수를 반영하는 방법 위주로 이루어졌으며, 더 많은 변수가 반영될수록 필요로 하는 자료가 많아지기 때문에 실제 분석에서는 사용하기 어려워지는 결과로 나타났다.

이에 본 연구에서는 현실적으로 적용이 가능하면서도

정확한 방법을 제시하기 위해 지역 간 변수를 포함하는 통행분포 자료인 해당지역의 통행분포를 사용하는 방법을 이용하여 분석하고자 한다.

### III. 택지개발사업지역의 통행분포 분석

#### 1. 대존·중존·소존별 통행분포 분석

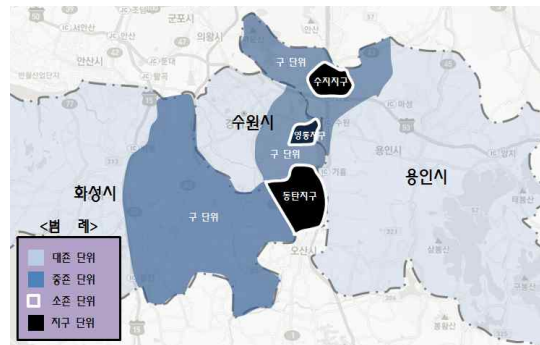
택지개발사업의 통행분포는 해당도시와 주변도시들의 여러 가지 사회·경제적인 특성들에 의하여 결정된다. 하지만 이러한 특성들을 모두 반영하기 위해선 매우 많은 양의 자료를 필요로 하기 때문에, 실제 분석에서는 거의 사용되지 않고 있다.

이러한 이유로 본 연구에서는 택지개발사업의 시행전에도 해당지역과 주변지역의 사회·경제적인 특성을 반영하고 있는, 해당지역의 통행분포를 이용하여 택지개발사업의 통행분포를 예측하는 방법을 분석하였다.

분석대상 지역인 수지 2지구, 영통지구, 그리고 동탄지구의 통행분포를 사업시행후인 2006년의 통행분포와 사업시행전인 1996년 대존, 중존, 소존 단위에서의 통

행분포를 비교하여 공간적 범위에 따른 특징을 분석하였다. 단, 용인시와 화성시의 경우에는 행정구역 상 중존 단위가 존재하지 않기 때문에 주변의 소존들을 합한 지역을 중존 단위로 가정하였다.

사업시행전 택지개발사업이 위치하는 지역의 대존, 중존, 소존 범위는 <그림 1>과 같으며, 택지개발사업의 시행전 1996년의 대존, 중존, 소존별 통행분포는 <표 1>, 그리고 2006년의 시행후 통행분포는 <표 2>와 같이 나타난다. 시행후의 통행분포는 택지개발사업의 분포를 분석하



<표 1> 사업시행전(1996년)의 통행분포

(단위 : 통행, %)

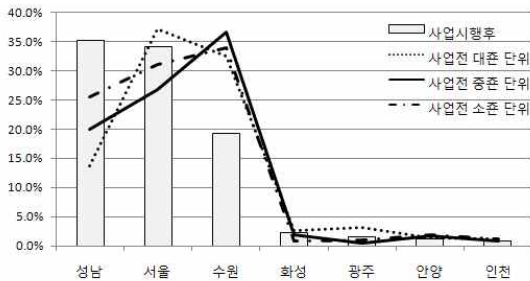
구분		1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위
수지 2 지구	대존 (용인시)	서울 51,525 (37.2)	수원 45,155 (32.6)	성남 18,930 (13.7)	안산 5,296 (3.8)	화성 3,593 (2.9)	평택 2,793 (2.0)	안양 1,910 (1.4)
	중존 (수지읍, 구성면)	수원 15,849 (36.7)	서울 11,610 (26.9)	성남 8,676 (20.1)	안산 3,618 (8.4)	화성 859 (2.0)	안양 757 (1.8)	부천 437 (1.0)
	소존 (수지읍)	수원 9,412 (34.9)	서울 8,605 (31.0)	성남 7,097 (23.6)	안양 482 (1.7)	부천 437 (1.6)	안산 339 (1.2)	인천 318 (1.1)
영통 지구	대존 (수원시)	서울 85,558 (29.9)	화성 59,352 (20.8)	용인 46,826 (16.4)	안양 18,390 (6.4)	오산 15,238 (5.3)	안산 12,604 (4.4)	평택 11,085 (3.9)
	중존 (팔달구)	용인 23,434 (30.8)	서울 15,591 (20.5)	화성 15,056 (19.8)	안양 4,732 (6.2)	오산 3,649 (4.8)	안산 3,143 (4.1)	성남 2,925 (3.8)
	소존 (원천동)	용인 2,563 (28.4)	서울 2,164 (24.0)	화성 1,170 (12.9)	성남 657 (7.3)	오산 618 (6.8)	안산 437 (4.8)	안양 395 (4.4)
동탄 지구	대존 (화성시)	수원 57,250 (64.8)	오산 10,696 (12.1)	안산 7,967 (9.0)	서울 7,685 (8.7)	용인 3,382 (3.8)	성남 818 (0.9)	인천 551 (0.6)
	중존 (태안읍, 동탄면, 매송면, 봉담면, 정남면)	수원 40,633 (66.8)	오산 8,486 (13.9)	서울 4,997 (3.6)	안산 3,194 (5.2)	용인 2,590 (4.3)	성남 564 (0.9)	인천 383 (0.6)
	소존 (태안읍, 동탄면)	수원 19,232 (61.1)	오산 6,644 (21.1)	용인 2,484 (7.9)	서울 1,763 (2.4)	안산 910 (2.9)	성남 252 (0.8)	인천 170 (0.5)

<표 2> 사업시행후(2006년)의 통행분포 (단위 : 통행, %)

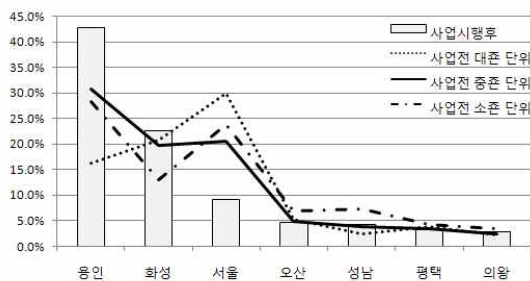
구분	1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위	7순위
수지 2지구	성남	서울	수원	화성	광주	안양	인천
	38,894 (35.1)	27,758 (34.1)	21,272 (19.2)	3,522 (2.3)	1,742 (1.6)	1,334 (1.2)	1,026 (0.9)
영통 지구	용인	화성	서울	오산	평택	의왕	안양
	25,351 (42.8)	13,440 (22.7)	5,419 (9.2)	2,804 (4.7)	1,925 (3.3)	1,715 (2.9)	1,704 (2.9)
동탄 지구	수원	오산	용인	서울	안산	인천	성남
	41,846 (58.6)	10,519 (14.7)	9,072 (12.7)	5,441 (7.6)	2,950 (4.1)	999 (1.4)	642 (0.9)

였기 때문에 공간적 범위에 따른 구분을 하지 않았다.

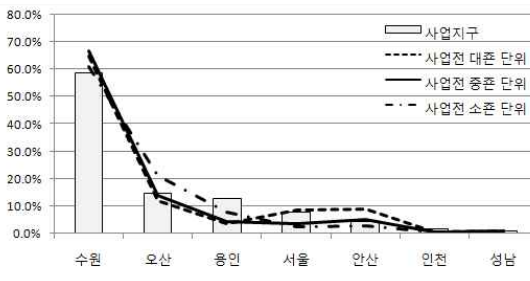
사업시행전과 후의 통행분포를 비교하기 위하여 가장 높은 통행분포 비율 순으로 모든 주변도시를 정렬하였다. 하지만 통행분포의 유사성을 <표 1>과 <표 2>만으로 판단하기는 매우 어렵다.



<그림 2> 수지2지구의 사업시행전·후 통행분포비교



<그림 3> 영통지구의 사업시행전·후 통행분포비교



<그림 4> 동탄지구의 사업시행전·후 통행분포비교

이에 사업시행전에 예측한 통행분포가 사업시행후의 통행분포와 유사한 정도를 검토하기위해 이해하기 쉬운 그래프로 살펴보았다.

<그림 2~4>를 보면 택지개발사업에서 발생하는 통행 발생량은 주요 3개 도시로 대부분 집중되어 있으며, 나머지 도시들의 통행분포 비율은 공간적 범위에 따른 영향이 크지 않은 것으로 나타나는 것을 알 수 있다.

이에 사업시행전과 후의 통행분포 차이를 살펴보기 위하여 주요 3개 도시로의 통행분포를 비교하였다. 수지 2지구와 동탄지구에서는 각각 통행의 80%이상을 차지하는 성남, 서울, 수원과 수원, 오산, 용인으로의 통행을 비교하였으며, 영통지구에서는 통행의 70%이상을 차지하는 용인, 화성, 서울로의 통행비율을 비교하였다.

<표 3>은 이러한 주요 3개 도시로의 통행분포 비율 오차를 나타낸 것이며, 사업시행후 통행분포와 사업시행 전 통행분포의 차이를 표현한 값으로 절대값의 크기가 크게 나타날수록 오차가 큰 것을 의미한다. 예를 들어 수지 2지구의 대존단위에서 성남으로의 통행분포 오차는 <표 2>의 성남지역 분포인 35.1%와 <표 1> 대존단위의 성남지역 분포인 13.7%의 차이인 21.4%로 나타난다.

수지 2지구의 분석결과를 보면 서울과 수원으로의 통행분포는 해당지역의 공간적 범위에 따른 차이가 거의 없는 것으로 나타나지만, 가장 많은 통행이 발생하는 성남으로의 통행분포는 공간적 범위에 따른 차이가 크게 나타나고 있다. 대존 단위에서 성남으로의 통행분포 차이는 21.4%로 오차가 가장 큰 것을 알 수 있으며, 소존에서 11.5%로 가장 유사한 것으로 나타난다.

영통지구는 용인과 서울지역으로의 통행분포 오차가 해당지역의 공간적 범위에 따라 큰 차이를 나타내고 있

<표 3> 해당지역의 공간적 범위에 따른 오차 (단위 : %)

수지 2지구	구분	성남	서울	수원
	대존	21.4	-3.1	-13.4
	중존	15.0	7.2	-17.5
영통 지구	구분	용인	화성	서울
	대존	26.4	1.9	-20.7
	중존	12.0	2.9	-11.3
동탄 지구	구분	수원	오산	용인
	대존	6.2	-2.6	-8.9
	중존	8.2	-0.8	-8.4
소존	구분	수원	오산	용인
	대존	6.2	-2.6	-8.9
	중존	8.2	-0.8	-8.4
소존	5.8	6.4	-8.0	

주 : 사업시행후의 통행분포에서 사업시행전의 통행분포를 뺀 값임.

다. 대존 단위에서의 차이가 26.4%와 -20.7%로 가장 크게 나타나고 있으며, 중존 단위에서의 차이가 12.0%와 -11.3%로 가장 작은 것으로 나타난다.

동탄지구의 통행분포는 해당지역의 규모별로 큰 차이가 없지만, 중존단위에서 오차의 절대값을 합한 값이 17.4%로 가장 작게 나타난다.

분석결과 대존 단위의 통행분포는 수지 2지구와 영통지구에서 사업시행전·후 가장 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 수지 2지구에서는 택지개발사업과 유사한 분석대상 지역인 소존 단위에서 가장 유사한 통행분포를 보이는 것으로 나타났으며, 영통지구에서는 주변의 몇 개 동을 포함하는 중존 단위의 통행분포가 가장 유사한 통행분포를 보이는 것으로 나타났다.

동탄지구의 통행분포는 해당지역의 규모에 따른 차이가 크게 나타나지 않았지만, 3개 지구를 종합적으로 분석한 결과 택지개발사업의 통행분포와 큰 차이가 발생하는 대존 단위보다는 중존 혹은 소존 단위의 통행분포를 이용하여 예측하는 것이 바람직한 것으로 나타난다. 본 연구에서는 이에 대한 더욱 상세한 분석을 위해 통계적 분석방법을 이용하여 살펴보기로 한다.

2. 중존 단위 통행분포 분석의 적정성

택지개발사업 시행전·후의 통행분포 차이를 정확하게 비교하기 위하여 통계적 검증방법으로 분석하였다. 본 연구에서와 같이 실측치와 모형에 의한 추정값을 비교하는 방법으로는 평균제곱오차법(Mean Squared Error)과 Theil의 부등계수법(Theil's inequality coefficient)이 많이 사용되고 있는데, Theil의 부등계수법은 기본적으로 평균제곱오차법에 의해 정의되므로 본 연구에서는 평균제곱오차법만으로 적합성을 판단하였다.

평균제곱오차법은 각각의 결과가 실제의 분포와 어느 정도 차이가 나는지를 검토하는데 적합한 방법으로 식 (5)와 같이 계산된다.

$$\text{평균제곱오차}(MSE) = \frac{\sum (\text{추정값} - \text{실측값})^2}{\text{표본수}} \quad (5)$$

검토결과를 살펴보면 대존 단위에서는 수지 2지구와 영통지구, 그리고 동탄지구에서 각각 93.2와 94.9, 21.1로 가장 높은 수치로 나타나 사업시행전·후의 통

<표 4> 대·중·소존별 평균제곱오차(MSE)

구분	대존	중존	소존
수지2지구	93.2	83.5	56.0
영통지구	94.9	41.6	76.8
동탄지구	21.1	20.6	20.7

행분포 차이가 가장 큰 것을 알 수 있다. 중존과 소존 단위에서는 택지개발사업별로 다른 결과를 나타내고 있는데, 수지 2지구에서는 소존 단위가 56.0, 영통지구와 동탄지구에서는 중존 단위가 41.6과 20.7로 가장 작게 나타나 실제 택지개발사업 시행후의 분포와 가장 유사한 것으로 나타난다.

이와 같이 중존 단위와 소존 단위의 통행분포가 실제 택지개발사업의 시행후와 유사한 것으로 나타났지만, 소존 단위의 경우에는 택지개발사업 시행전의 통행량이 매우 적기 때문에 기존 소존의 특성을 너무 충실히 반영할 우려가 있다. 이는 발생량이 아닌 분포비율을 판단하는 본 연구의 분석방법에서는 오차가 크게 나타날 수도 있음을 의미한다.

실제로 <표 5>에서 사업시행전 소존 발생량을 살펴보면 택지개발사업의 발생량에 비해 매우 적은 것(9%~44%)을 알 수 있으며, 특히 영통지구의 경우 9%에 불과한 수준으로 나타났기 때문에 소존 단위에서의 평균제곱오차가 76.8로 큰 것으로 판단된다.

즉 해당지역의 통행분포를 이용하는 경우 중존 단위를 이용하는 것이 대존 단위보다 정확하면서, 소존 단위보다는 안정적인 것으로 나타난다.

위의 분석결과를 토대로 중존 단위에서의 통행분포를 사용하여 택지개발사업의 통행분포를 추정하는 방법을 제안한다. 하지만 이와 같이 중존 단위를 이용하여 통행분포 비율을 추정하는 경우에도 실제 통행분포와는 차이가 발생하는데, 본 연구에서는 이와 같은 차이를 보정하기 위하여 오차가 발생하는 원인을 분석하고 보정하는 방법을 검토하였다.

<표 5> 택지개발사업량과 사업시행전 소존 발생량 (단위 : 통행)

구분	소존 발생량	택지개발사업 발생량
수지2지구	27,725	62,201
영통지구	9,035	99,479
동탄지구	73,415	163,683

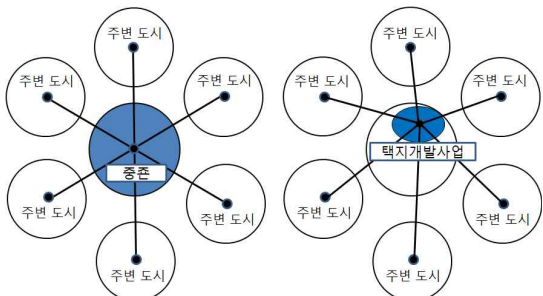
#### IV. 중력모형을 이용한 통행분포의 보정

##### 1. 적절한 중력모형의 도출

택지개발사업의 통행분포는 위치하는 지역과 주변지역의 여러 가지 사회·경제적인 특성을 반영하고 있다. 지금까지는 이를 반영하고 있는 해당지역의 통행분포를 이용하여 택지개발사업의 통행분포를 추정하는 방법을 검토하였으며, 특히 중존 단위에서의 통행분포가 실제 택지개발사업과 어느 정도 유사하면서도 소존 단위에 비해 안전성의 측면에서 적합한 것으로 분석되었다.

하지만 실제 택지개발지구의 통행분포와 기존 중존 단위의 통행분포를 비교해보면 적지 않은 오차가 발생하는데, 이는 택지개발사업의 규모가 중존 단위에 훨씬 작기 때문에 주변도시로부터 받는 영향이 다르게 나타나기 때문이다.

실제로 택지개발사업을 살펴보면 중존 단위와 택지개발사업지로부터 주변도시까지의 거리가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 예를 들어 영통지구는 중존 단위의 중심에 비하여 동쪽에 위치하기 때문에 <그림 6>과 같이 용인시와의 거리가 더 가까운 것을 알 수 있다. 하지만



<그림 5> 중존 단위와 택지개발사업의 통행분포



<그림 6> 중존 단위와 택지개발사업의 위치 차이

영통지구 통행분포는 중존 단위의 통행분포를 이용하여 추정하였기 때문에 <표 1>과 <표 2>에서 실제 용인시로의 통행분포비율인 42.8%에 비해 과소 추정된 30.8%로 나타나는 것을 알 수 있다.

수지 2지구에서도 실제 성남시로의 통행분포 비율인 35.1%보다 과소 추정된 20.1%로 나타나는 데 이는 중존 단위에 비해서 수지 2지구가 성남시에 가까운 지역에 위치하기 때문이다.

이러한 오차를 보정하기 위한 방법으로 기존의 통행분포 추정 모형을 검토하였으며, 유출제약 중력모형 (Production - constrained gravity model)을 이용하여 보정하는 방법을 검토하였다. 이와 같이 유출제약 중력모형을 사용하는 이유는 통행분포가 변경되는 것은 총 발생량의 변화가 아닌 도착지로의 분포 비율이 변화하는 것이므로 계산을 쉽게하기 위해 총 발생량을 제약하는 것이 가능하기 때문이다.

유출제약중력모형을 사용하기 위하여 주변도시의 인구와 중존 중심점에서 주변도시까지의 거리, 그리고 택지개발사업의 중심점에서 주변도시까지의 거리를 측정하였다. 중존 단위와 택지개발사업은 중심지역, 주변도시는 시청을 기준으로 거리를 측정하였다.

중존 단위에서의 통행분포비율을 이용함으로써 거리, 인구 뿐만 아니라 사회경제적인 요인들이 이미 반영된 통행분포를 사용한 것이다. 다만 택지개발사업에서의 통

<표 6> 주변도시의 인구 (단위 : 인)

서울	인천	수원	성남	용인
10,181,166	2,624,391	1,068,906	964,831	766,569
화성	안양	안산	평택	광주
310,171	624,280	698,819	396,765	222,048
				오산
				136,311

주 : 2006년 통계청 자료임.

<표 7> 택지개발사업과 중존 단위에서의 주변도시 거리 (단위 : km)

구분	성남	서울	수원	화성	광주	안양	인천
수지 2지구	중존	17.6	32.4	7.4	26.2	19.4	17.3
	택지개발사업	13.5	28.7	9.4	27.7	17.1	14.7
	구분	용인	화성	서울	오산	평택	의왕
영통지구	중존	12.3	19.9	33.2	12.4	30.9	11.8
	택지개발사업	9.1	23.0	36.2	11.4	29.8	14.2
	구분	오산	수원	용인	안산	성남	서울
동탄지구	중존	8.9	10.5	18.7	21.1	32.9	43.2
	택지개발사업	6.5	8.6	10.2	25.8	28.2	42.0



행분포가 아닌 중존 단위에서의 통행분포를 이용하였기 때문에 어느 정도의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

이러한 중존 단위와 택지개발사업 간의 차이를 보정하기 위하여 주변 도시까지의 거리, 주변 도시의 인구를 이용하였으며, 유출계약중력모형을 사용한 택지개발사업 보정계수(a)와 중존단위보정계수(b)를 (6)과 같이 계산하여 보정에 사용하였다.

$$\text{중존단위와 택지개발사업의 보정계수} = \frac{\text{인구}}{(\text{거리})^2} \quad (6)$$

앞에서 추정된 중존 단위의 통행분포 비율( $P^0$ )은 중존 중심점에서 주변도시와의 영향이 반영된 통행분포 비율이므로, 이를 보정하기 위해선 중존 중심점에서의 영향 대신에 택지개발사업지 중심점에서의 영향을 고려해야 한다.

중존 단위의 통행분포 비율( $P^0$ )을 중존 단위의 보정계수(b)로 나눈 뒤, 택지개발사업의 보정계수(a)를 곱함으로써 보정된 통행분포( $P^*$ )를 산정하는 (7)과 같은 보정식을 도출하였다. 이와 같은 방법으로 중존단위에서의

특성이 반영된 중존단위의 통행분포비율( $P^0$ )을 택지개발사업의 특성이 반영된 보정된 통행분포( $P^*$ )로 보정하는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} \text{보정된 통행분포}(P^*) &= \\ &= \frac{\text{중존단위 통행분포비율}(P^0) \times \text{택지개발사업 보정계수}(a)}{\text{중존단위 보정계수}(b)} \end{aligned} \quad (7)$$

보정식으로 영동지구와 수지 2지구에서 통행량이 크게 발생하는 상위 7개 도시에 대하여 보정된 통행분포를 산정한 결과 <표 8~10>과 같이 분석되었다.

중력모형을 적용하여 보정한 통행분포( $P^*$ )를 살펴보면 모두 중존 단위에서의 통행분포( $P^0$ )에 비해 실제분포와 눈에 띄게 유사한 분포를 나타내는 것을 알 수 있다.

수지 2지구의 경우 통행량이 크게 발생하는 주요 3개 도시인 성남시, 서울시, 수원시로의 통행분포가 각각 20.1%, 26.9%, 36.7%에서 31.3%, 31.6%, 20.5%로 실제 분포와 상당히 유사하게 보정 되었으며, 그 이외의 도시들에서도 역시 매우 유사한 것을 알 수 있다.

<표 8> 수지 2지구의 중력모형 보정 후 통행분포 예측 (단위 : %)

구분	성남	서울	수원	화성	광주	안양	인천	합계
실제 통행분포	35.1	34.1	19.2	2.3	1.6	1.2	0.9	94.4
보정전	통행분포( $P^0$ )	20.1	26.9	36.7	2.0	0.5	1.8	88.9
	오차	15.0	7.2	-17.5	0.3	1.1	-0.6	5.5
보정후	통행분포( $P^*$ )	31.3	31.6	20.5	1.7	0.6	2.3	88.9
	오차	3.8	2.5	-1.3	0.6	1.0	-1.1	5.5

<표 9> 영동지구의 중력모형 보정 후 통행분포 예측 (단위 : %)

구분	용인	화성	서울	오산	평택	의왕	안양	합계
실제 통행분포	42.8	22.7	9.2	4.7	3.3	2.9	2.9	88.5
보정전	통행분포( $P^0$ )	30.8	19.8	20.5	4.8	3.3	2.4	87.8
	오차	12.0	2.9	-11.3	-0.1	-	0.5	-3.3
보정후	통행분포( $P^*$ )	47.5	12.5	14.6	4.8	3.0	1.4	87.8
	오차	-4.7	10.2	-5.4	-0.1	0.3	1.5	-1.1

<표 10> 동탄지구의 중력모형 보정 후 통행분포 예측 (단위 : %)

구분	오산	수원	용인	안산	성남	서울	인천	합계
실제 통행분포	13.8	55.1	11.9	3.9	0.8	7.2	1.3	94.1
보정전	통행분포( $P^0$ )	13.4	64.0	4.1	5.0	0.9	7.9	95.9
	오차	0.4	-8.9	7.8	-1.1	-0.1	-0.7	0.7
보정후	통행분포( $P^*$ )	16.1	61.7	8.8	2.2	0.8	5.4	95.9
	오차	-2.3	-6.6	3.1	1.7	-	1.8	1.0



영통지구에서도 주요 도시인 용인시, 화성시, 서울시의 통행분포를 살펴본 결과 용인시와 서울시에서는 각각 30.8%, 19.8%에서 47.5%, 14.6%로 실제분포와 유사하게 보정된 것을 알 수 있으며, 동탄지구의 수원과 용인시로의 통행 역시 각각 61.7%와 8.8%로 보정된 것을 알 수 있다. 다만 영통지구에서 화성시와 동탄지구에서의 오산시의 경우에는 오차의 보정이 제대로 이루어지지 않았는데, 이는 분석의 편익상 주변도시의 위치를 시정 기준으로 설정하였지만 시정의 위치가 시를 대표하지 못하였기 때문이다. 이를 수정하여 분석하는 경우에는 오차가 감소하는 것으로 나타났다.

하지만 이러한 한계에도 불구하고 유출제약중력모형을 이용하여 보정하는 방법은 실제 택지개발사업의 통행분포를 상당히 유사하게 추정하는 것을 알 수 있다.

## 2. 통계적 검증

중력모형을 이용하여 보정된 통행분포가 중존 단위의 통행분포에 비해 실제 통행분포와 더 유사한지를 파악하기 위하여 앞에서 택지개발사업전의 공간적 범위를 결정하는 방법과 마찬가지로 평균제곱오차법(Mean Squared Error)을 이용하여 분석하였다.

수지 2지구와 영통지구, 그리고 동탄지구에서 통행분포가 높게 나타나는 7개 도시의 분포에 대하여 분석하였으며, 실제 교통유발시설과 중존 단위에서의 통행분포 MSE를 <표 11>과 같이 비교하여 살펴보았다.

분석결과 중력모형을 이용하여 보정된 후 MSE 값은 영통지구 3.6, 수지 2지구 22.6, 동탄지구 9.3으로 나타났다. 이는 보정하기 전인 83.5, 41.6, 20.6에 비해 매우 작아진 것을 알 수 있다. 이와 같이 MSE 값이 작아졌다는 것은 사업시행후 통행분포와 모형에 의한 예측된 통행분포가 유사해졌다는 것을 의미하며, 중력모형을 이용한 보정의 효과가 크다는 것을 의미한다.

영통지구의 보정후 MSE 값은 앞에서 언급한 화성시로의 통행분포 문제로 약간 큰 것으로 나타났지만, 기존 중존의 통행분포 보다는 크게 개선된 것을 알 수 있다.

<표 11> 중력모형 보정 전·후의 평균제곱오차(MSE)

구분	중력모형 보정 전	중력모형 보정 후
수지2지구	83.5	3.6
영통지구	41.6	22.6
동탄지구	20.6	9.3

## V. 결론

지금까지 새로운 교통유발시설이 건설되는 경우 정확한 수요예측을 위한 통행발생에 대한 연구는 비교적 많이 이루어졌으며, 실제분석에서도 교통유발시설별 통행발생 원단위를 이용하여 예측되고 있다.

발생한 통행량이 어디로 도착하는지를 판단하는 통행분포와 관련된 연구도 많이 이루어졌는데, 지금까지의 대부분의 연구는 기존의 모형식을 보다 정확하게 개선하기 위하여 여러 가지 변수들을 도입하는 측면에서 이루어졌다.

하지만 이와 같이 여러 가지 변수를 적용하여 택지개발사업의 정확한 통행분포를 예측하기 위해선 주변 도시들과의 영향을 모두 고려한 매우 많은 양의 자료를 필요로 하기 때문에 실제 사업에서 사용되기는 매우 어려웠다.

이에 본 연구에서는 새로운 택지개발사업의 통행분포를 정확하고 객관적으로 예측할 수 있으면서 비교적 용이한 분석방법을 제시하였다. 택지개발사업의 통행분포는 해당 지역이 갖고 있는 많은 특징들에 의해 결정되지만, 이 모든 변수를 고려하는 방법은 매우 어렵고 시간이 많이 소요된다. 이러한 특징을 손쉽게 반영하기 위하여 해당지역의 통행분포를 따르는 방법을 사용하였으며, 대존, 중존, 소존 단위의 통행분포를 분석한 결과 비교적 정확하면서도 안전성 측면에서 우수한 중존 단위의 통행분포를 이용하는 방법을 제안하였다.

또한 중존 단위의 통행분포를 이용하는 방법도 실제 택지개발사업지와 중존 단위간에는 위치상 오차가 발생하기 때문에 이로 인한 통행분포의 차이가 발생하는데, 이를 보정하기 위해 중존 단위와 교통유발시설간의 위치차이를 중력모형을 이용하여 보정하는 방법을 분석하였다. 분석결과 중존 단위의 통행분포를 그대로 이용하는 방법보다 유출제약 중력모형으로 보정하는 방법이 실제 분포와 더욱 유사한 것으로 나타났다.

이와 같은 방법은 또한 분석에 필요한 자료를 쉽게 구할 수 있는 방법으로 향후에 택지개발사업의 통행분포를 예측하는데 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 택지개발사업 전·후의 통행분포를 비교하여 분석하기 때문에 자료의 한계로 인하여 3개의 택지개발사업만을 분석하였지만, 향후에 배포될 DB로는 더 많은 사례분석이 가능할 것으로 판단되므로 택지개발사업의 특징에 따른 오차 보정까지도 제시할 수 있을 것으로 보인다. 또한 택지개발사업 뿐만 아니라 다른 종류

의 교통유발시설에도 본 연구에서 제시한 방법을 적용하는 연구와 출발지뿐 만 아니라 도착지를 세분화하여 보다 세밀한 오차 보정에 관한 연구가 이루어질 수 있을 것으로 보인다.

마지막으로 본 연구에서는 거리의 제곱에 반비례하는 일반적인 유출제약 중력모형을 사용하였지만 향후 이에 대한 연구를 추가하여 반비례의 정도를 파악하는 연구도 이루어질 수 있을 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부(2007), 광역교통개선대책 수립지침.
  2. 국토연구원(2007), 광역교통개선대책 비용의 합리적 재원부담방안 연구.
  3. 김순관(1998), 서울시 교통수요 예측모형 정립(I)-통행발생 및 통행분포, 서울시정개발연구원.
  4. 김우철·김재주·박병욱·박성현(1998), 현대통계학 -제4개정판-, 영지문화사.
  5. 김태균(2006), 도시내 지역간 상대적 유인력 변수를 도입한 통행분포모형 개발, 한양대학교 박사논문.
  6. 서울시정개발연구원(2004), 서울시 장래교통수요 예측 및 대응방안 연구.
  7. 서울시정개발연구원(2006), 교통수요예측을 위한 모형 정립.
  8. 서울특별시(1997), 서울시 교통센서스 및 데이터베이스 구축 -가구통행실태조사-.
  9. 유선(2001), 지역간 상호의존성을 고려한 통행배분 모형 개발 -수도권 출근목적 통행을 사례로-, 한양대학교 도시대학원, 석사학위논문.
  10. 임성빈·이부원(1996), 1990년 서울특별시 O/D 자료를 이용한 중력모형적용에 관한 연구, 대한교통학회지, 제14권, 제1호, 대한교통학회, pp.29~42.
  11. 한국개발연구원(2004), 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구[제4판].
  12. 홍창의(2002), 교통통계학, 도서출판 꾸벅.
  13. Goncalves, M. B., Souze de Cursi, J. E.(2001), Parameter Estimate in a Trip Distribution Model by Random Perturbation of a Decent Method, Transportation Research Part B 35, pp.137~161.
  14. Goncalves, M. B., Ulysea Neto, I.(1993), The development of New Gravity-Opportunity Model for Trip Distribution, Environment and Planning A25, pp.817~826.
  15. Peter R. Stopher and Arnim H. Meyburg (1980), Urban Transportation Modeling and Planning, Lexington Books, pp.145~146.
- ♣ 주 작성자 : 정창용  
 ♣ 교신저자 : 손의영  
 ♣ 논문투고일 : 2009. 2. 21  
 ♣ 논문심사일 : 2009. 4. 15 (1차)  
                   2009. 5. 12 (2차)  
                   2009. 5. 28 (3차)  
                   2009. 7. 13 (4차)  
                   2009. 10. 19 (5차)  
 ♣ 심사판정일 : 2009. 10. 19  
 ♣ 반론접수기한 : 2010. 4. 30  
 ♣ 3인 익명 심사필  
 ♣ 1인 abstract 교정필