

# 도시기본계획 단계에서 활용가능한 탄소배출 저감을 위한 공간배치 시뮬레이터 개발 : 토지이용계획도와 교통계획도를 이용한 이동거리 발생량 추정을 중심으로

이상현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>명지대학교 건축대학 건축학부

## Space Allocation Simulator in Early Urban Design Stage to Reduce Carbon Emissions : Focused on the Prediction of the Travel Distance Using Land Use and Transportation Plan

Sanghyun Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Architecture, Myongji University

**요 약** 공간배치는 총 에너지 사용량의 20% 이상을 차지하는 교통 부분에서의 탄산가스 배출량을 결정하는 중요한 이슈이다. 교통 부분에서 사용하는 에너지 사용량을 줄이는 방법으로서 고효율의 교통수단 개발과 함께 도시에서의 이동량을 효과적으로 감소시킬수 있는 공간배치의 중요성이 더욱 증가하고 있는 실정이다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 도시계획 초기 단계에서 토지이용계획 및 교통계획을 기반으로 해당 도시에서의 이동 발생량을 추정할 수 있는 방법론을 제안한다. 본 연구에서는 토지이용계획 및 교통계획에서 획득할 수 있는 정보, 즉 단위 기능 용도 지역의 위치, 면적, 연면적, 도로체계와 같은 정보만을 이용하여 이동량을 추정할 수 있는 방법을 제시한다.

**Abstract** Space Layout has been an issue in the facet of reducing the co2 in that the transportation sector has been to represent almost more than 20% of the total energy consumption for decades. Beside the development of the more efficient transportation systems, an efficient space layout makes it possible to reduce the amount of energy consumption in the transportation sector through allocating the sub-spaces in such an arrangement of minimizing the travel distances. In line with this thinking, this research aims at implementing a simulator which can calculate the vehicle-based travel distance upon a certain space layout. Based on the findings that the vehicle-based travels take place between the two functionally related sub-spaces, this research addresses a method of calculating the vehicle-based travel distance by multiplying the traffic volume of each sub-spaces by the travel distance to the other connected sub-spaces.

**Key Words** : Space allocation, co2, Simulation, Travel distance, Energy consumption

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

탄소배출량 감소의 필요성은 단순히 윤리적인 문제에서 반드시 실행하여야만 하는 실제적인 문제로 대두되고 있다. 세계적인 협약에 의해 세계 각국은 탄소배출 총량

을 조절해야 한다. 이를 준수하지 않을 경우 국제적인 관계에서 피해를 입을 수밖에 없는 상황이 도래한 것은 분명하다. 이런 상황에서 탄소배출량 감소는 국가적 차원의 문제가 되고 있다. 탄소배출은 화석 에너지의 사용과 정비례하는데, 화석 에너지 사용은 크게 보아서 산업부문, 교통부문, 건물부문에서 일어나고 있다. 가장 많은 부분

\*교신저자 : 이상현(sanglee@mju.ac.kr)

접수일 11년 09월 16일

수정일 11년 11월 03일

게재확정일 11년 11월 10일

을 차지하고 있는 것은 산업부문이다. 하지만 교통과 주거를 아우르는 분야, 즉 도시 및 건축 부문에서 사용하는 에너지의 양도 무시할 수 없는 정도이다.

건물 부문에서의 에너지 사용량 감축은 개별 건물의 에너지 효율을 제고하는 방향으로 진행되고 있다. 교통 부문에서 에너지 사용량 감소는 고효율 운송 수단의 개발, 신재생 에너지를 이용한 운송 수단의 개발로 가능할 수도 있지만, 가장 원초적이며 중요한 것은 도시에서의 이동 거리를 감소하는 것이다. 도시에서의 이동거리는 도시 공간 구성에 의해서 달라지게 된다. 즉 주거, 상업, 산업 부문 등의 단위기능공간이 공간 상에서 전개될 때, 이들 세부 용도공간의 배치를 어떻게 하느냐에 따라서 발생하는 이동거리가 달라지게 된다. 도시 생활을 영위하기 위해서 불가피하게 발생하는 이동거리를 줄임으로써 화석 에너지 사용량을 감소시킬 수 있으며 이는 곧 탄소배출량이 감소되는 것을 의미한다.

이와 같은 상황에서 도시 계획 시 중요한 이슈로 떠오르고 있는 것이 도시의 공간배치 계획에서 개별 단위공간 간의 이동거리를 최소화할 수 있는 계획기법의 개발이다. 도시 계획은 도시 내에 존재하여야 하는 단위 기능을 적절하게 배치하는 것이라고 할 수 있다. 이렇게 단위 기능공간을 배치할 때 지금까지 중요한 고려 대상이 된 것은 동선의 효율성, 거주 편의성, 업무공간의 생산성 등이었다. 그러나 탄소배출량 감축이 점점 더 큰 사회적 이슈가 되고 있는 현재 상황에서 도시계획 시 고려해야 할 가장 중요한 기준으로 부상하고 있는 것이 바로 탄소배출량 감축이다. 도시계획과 관련된 부분에서 탄소배출량 감축은 도시 내 개별 단위기능공간 간의 이동량을 최소화할 수 있는 공간배치에 의해서 가능해진다. 본 연구에서는 도시에 요구되는 일반적인 기준을 준수하면서 이동량을 최소화할 수 있는 공간배치를 가능하게 해주는 시뮬레이터를 개발하고자 한다.[1] 본 연구에서 개발하고자 하는 시뮬레이터는 특정 지역에 대한 도시계획 대안 - 토지이용계획도와 교통계획도로 표현되는 - 별로 이동발생량을 평가함으로써 최적의 대안을 찾을 수 있도록 기능할 것이다.

## 1.2 연구의 방법 및 절차

탄소 배출량은 도시에서 발생하는 이동량과 비례한다. 따라서 탄소배출량 평가는 곧 이동량 평가를 통해서 가능해지며 이동량은 도시를 구성하는 단위기능공간의 배치에 따라 달라진다. 단위기능공간의 배치에 따라 다르게 발생하는 이동량을 추정하기 위해서는 아래와 같은 세부적인 연구들이 필요하다. 아래에서 연구의 전체 목표를 달성하기 위한 세부목표와 세부 목표를 달성하기 위한

연구방법에 대해 서술한다.

### 1.2.1 도시를 구성하는 단위기능공간의 배치에 따른 이동량 추정

도시의 공간배치가 다르면 이동량도 달라지게 된다. 가장 단순한 예는 직장과 주거의 배치 문제이다. 직주를 근접시킨 경우와 그렇지 않은 경우 간에는 당연히 이동량에 차이가 나게 된다. 도시를 구성하는 단위기능공간의 배치에 따른 이동량 추정에서 중요한 것은 어떠한 조건에서 어떠한 규모의 이동이 발생하는가를 규명하는 일이다.

도시공간은 상이한 성격과 기능을 가지는 단위기능공간들의 집합체로 구성된다. 단위기능공간의 성격과 기능은 아주 다양할 수 있다. 업무공간, 상업공간, 녹지공간, 주거공간 등이 그러한 다양한 예들 중의 하나가 될 수 있다. 단위기능공간은 어떤 기준으로 분류하느냐에 따라서 다양한 양상으로 나타난다. 그런데 도시 내에서 이동의 발생이라는 측면에 초점을 맞추어 보면, 물품 및 서비스 공급자 공간과 소비자 공간으로 대별된다. 앞에서 예로 든 업무공간이나 상업공간, 녹지공간은 물품 및 서비스 공급자 공간이다. 업무공간은 업무 수행에 소요되는 공간을, 상업공간은 물건이나 서비스를, 녹지는 도시민의 휴식에 필요한 공간을 제공하는 공급자 공간에 해당된다. 주거 공간은 이러한 물품 및 서비스를 이용하는 소비자 공간에 해당된다. 그리고 이동은 거의 대부분 물품 및 서비스 공급자 공간과 소비자 공간 사이에서 일어난다. 또한 이 때 발생하는 이동량은 물품 및 서비스 공급자 공간의 양이나 또는 소비자 공간의 용량에 비례해서 일어난다. 도시계획 시에 물품 및 서비스 공급자 공간의 용량과 소비자 공간의 용량은 별개의 것이 아니다. 양자는 서로 비례적으로 증감하는 관계를 가지도록 계획된다. 따라서 물품 및 서비스 공급자 공간의 양에 비례해서 이동이 발생한다는 것은 소비자 공간의 용량에 비례해서 이동이 발생한다는 것과 같은 주장이 된다.

본 연구에서는 개발하고자 하는 공간배치 시뮬레이터의 실용성을 제고하기 위하여 도시계획 초기 단계에서 사용이 가능하도록 하고자 한다. 이 단계에서 공간배치와 관련된 정보는 토지이용계획도와 교통계획도에 의해서 표현되는데, 이들에 포함된 정보만으로 이동량을 산출할 수 있어야 한다.

이상과 같은 맥락에서 도시 구성 단위기능공간의 배치에 따른 이동량을 추정하기 위해서는 공급자 혹은 소비자 공간 용량에 따른 이동 유발량 추정이 필요하다. 이는 다시 말하자면 공급자 혹은 소비자 공간 이동유발량 원 단위를 산출해야 한다는 것이다. 이와 더불어 하나의 물

품 혹은 서비스가 공급자와 소비자 간에 전달될 때 이들 양자 간의 이동거리 추정이 필요하다.

상기와 같은 세부 연구 목표를 달성하기 위해서는, 첫 번째로 공급자 혹은 소비자 공간이 만들어 내는 이동 유발량의 원단위 추정이 필요하다. 이를 위해서는 문헌조사를 통해 기존의 연구결과를 활용하거나, 현장 조사를 실시하거나 또는 공급자 혹은 소비자 공간의 분양가로부터 필요 매출액을 산정하고 연평균 기대 이윤율을 이용하여 총 방문인 수를 추정하고 이로부터 원단위를 추정할 수도 있다. 두 번째로 하나의 물품 혹은 서비스가 공급자와 소비자 간에 전달될 때 이들 양자 간의 이동거리 추정이 필요한데, 이것은 공간배치 상태를 특정한 형식으로 도면화하고 이를 바탕으로 한 ‘네트워크’ 분석을 실시하는 것으로 가능해진다.

위와 같은 과정을 거쳐 추정된 개별 공급자 공간과 소비자 공간 간의 이동으로 인해 발생하는 이동량을 합산하여 도시 공간배치에 따른 총 이동량을 추정할 수 있다.

### 1.2.2 공간배치 표현모델 개발

공간배치 시뮬레이터 개발에서 필수적인 것은 공간배치안을 컴퓨터가 이해할 수 있는 형식으로 표현하여야 하는 것이며 동시에 사람이 이해할 수 있는 형식이 되어야 한다는 것이다. 이러한 공간배치 표현모델은 두 가지를 요구한다. 하나는 도시를 구성하는 단위기능공간의 배치에 따른 이동량 추정에 필요한 정보를 보유하여야 한다는 것이고, 두 번째는 일반적인 도시계획 표현 방법론과 부합하여야 한다는 것이다. 따라서 공간배치 표현모델은 도시를 구성하는 단위기능공간의 배치에 따른 이동량 추정에 필요한 정보 분석과 기존 도시계획 표현 방법론 분석을 통해 실시된다.

### 1.2.3 공간배치 시뮬레이터 개발

상기 1.2.1 단계를 통해서 공간배치 시뮬레이터의 기본 기능을 추출하고 프로그래밍을 통해 구현한다. 1.2.2 단계를 통해서 공간배치 시뮬레이터의 기본 기능 작동에 필요한 데이터의 종류와 구조를 특정한다.

공간배치 시뮬레이터 개발은 두 가지 방식으로 가능하다. 하나는 새로운 소프트웨어를 개발하는 것이고 다른 하나는 기존의 소프트웨어를 플랫폼으로 사용하는 것이다. 본 연구에서는 두 번째 방식을 택한다. 기존의 소프트웨어를 검토하여 플랫폼으로 사용하기 가장 적절한 소프트웨어를 선정하고 그것을 기반으로 공간배치 시뮬레이터를 개발하도록 한다.

## 2. 문제들의 설정

### 2.1 탄소 배출 관련 도시계획 기존 연구

2005년 기준 탄소 배출은 대부분 산업용 에너지 사용(55.2%), 건물에서 사용하는 에너지(21.6%), 교통에 사용되는 에너지(20.8%)에 의해서 발생한다.[2] 이들 중에서 산업용 에너지 사용과 건물에서 사용하는 에너지 사용에 관해서는 많은 연구가 이루어졌고 현재 실용적이고 상용적인 수준에서 해당 분야 에너지 사용량 절감을 위한 방안들이 실시되고 있다. 하지만 전체 에너지 사용량의 20% 이상을 차지하고 있는 교통에 사용되는 에너지 절감을 위한 연구는 대부분 교통 기관의 에너지 성능 개선과 이동량을 감소시킬 수 있는 도시공간 배치 방법론 개발이라는 방향으로 이루어져 왔다.

도시공간 배치 방법론은 도시모델의 개발에 관련된 연구와 기 개발 도시 모델의 적용에 관련된 연구로 대별된다. 도시모델 개발은 주로 외국에서 이루어졌다.

METROSIM, NYMTC-LUM, DELTA, PECAS, UrbanSim, ILUTE, Ramblas 등이 대표적인 사례이다.[3] 이들 기존 연구는 대부분 특정한 방식으로 모델링한 도시를 대상으로 일정한 시나리오를 바탕으로 시뮬레이션을 실시하여 해당 도시에서 발생하는 교통량을 추정하는 방법을 제시하고 있다. 도시에서 발생하는 교통량에 영향을 미치는 요인을 어떠한 범위로 고려하고 있는가라는 부분에서 의미있는 차이가 발견된다.

도시모델 개발과 관련된 국내 연구로는 김민주[4], 이동근[5] 등이 주목할 만하다. 김민주의 연구에서는 교통수단 선택모형을 구축하고, 동별 OD 통행에서 각 교통수단을 선택할 확률을 도출하고 GIS 네트워크 분석을 통해 행정동 간 최적 경로를 도출한 후 교통수단 선택에 의한 동별 이산화탄소 발생량을 추정하고 있다. 이동근은 안건혁[6]의 연구를 이용하여 도시공간 구조 특성 변수(시가지 인구밀도, 시가지 면적비율, 인구밀도 상대 엔트로피 지수, Hansen Type 광역적 고용접근성), 도로교통 변수(버스정류장 밀도, 역세권 면적 비율, 차량 한 대당 도로 면적, 교차로, 도로의 시종점, 고가도로, 지하차도, 터널의 밀도), 주요소 관련 변수(평균 회발유 가격, 주유소 밀도), 경제수준(1인당 부동산세)을 도입한 회귀식을 사용하여 탄산가스 배출량을 추정하는 방법을 제시하고 있다.

다른 한편에서 진행되는 연구는 기 개발된 도시모델을 특정한 도시에 적용하는 연구이다. 이들 연구의 주된 내용은 특정한 도시모델이 특정한 도시에 얼마나 잘 적용될 수 있는가를 보여주거나, 특정 도시모델을 특정 도시에 효과적으로 적용하기 위한 세부적인 방법론을 제안하

고 있다. 전자에 해당하는 연구로는 이희연[7]이 대표적이라고 할 수 있으며, 후자에 해당하는 대표적인 사례로는 김규일[8]이 있다.

기존 연구에서 발견되는 미비점은 도시계획 초기 단계에서 제한된 정보, 즉 토지이용계획 및 교통계획만을 가지고 탄산가스 배출량의 기본이 되는 이동 발생량을 추정할 수 있는 시스템에 대한 연구가 없다는 것이다.

## 2.2 공간배치 별 이동량 추정 시뮬레이터 개발 필요

본 연구에서 개발하고자 하는 공간배치 시뮬레이터가 필요한 것은 상기에서 논의한 바와 같이 도시를 어떠한 모양으로 설계하느냐에 따라 이동발생량이 달라지게 되는데 현재까지의 도시계획 초기 단계에서 그러한 이동발생량을 정밀하게 계산할 수 있는 도구 개발이 미미하기 때문이다. 물론 이동발생량이 의미를 가지는 것은 이동발생량에 개인/대중교통 분담율과 개인, 대중교통 1대당 평균 탑승인원 그리고 연비를 고려해서 에너지소비량을 추정할 수 있으며, 이를 근거로 탄산가스 배출량을 추정할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 (a) 기본적인 도시설계안을 바탕으로 세밀한 수준에서 이동량을 추정할 수 있으며, (b) 호환성이 우수한 설계안 표현이 가능하며, (c) 도시 설계 지역 현황에 따라서 정보를 임의로 수정, 추가할 수 있는 공간배치 시뮬레이터를 개발하고자 한다.

## 3. 공간배치 별 이동량 추정 모델

### 3.1 도시를 구성하는 단위기능공간의 배치에 따른 이동량 추정

도시에서 이동이 발생하는 가장 기본적인 이유는 서로 다른 기능을 수행하는 단위기능공간이 공간적 거리를 두고 배치되기 때문이다. 가장 단순한 예로 거주지역과 상업지역이 거리를 두고 배치된 경우를 들 수 있다. 거주지역에 사는 거주민들은 상업지역을 방문하여 필요한 물품 및 서비스를 구매하여야 한다. 이런 과정에서 이동이 발생하게 된다. 이때 발생하는 이동량은 거주지역과 상업지역의 용량에 비례한다. 그런데 발생 이동량은 거주지역의 용량에 비례하는가? 상업지역의 용량에 비례하는가? 일반적인 도시계획 방법론의 관점에서 볼 때 거주지역의 용량에 비례한다는 것은 곧 상업지역의 용량에 비례한다는 것과 같은 의미가 된다. 왜냐하면 도시계획 시 거주지역에 필요한 정도의 상업지역을 공급하기 때문이다.

이런 양상을 좀 더 일반화해서 보자면 물품 및 서비스의 이동이 필요한 서로 다른 단위기능공간 간에 이동이 발생하는 것으로 이해할 수 있다. 도시의 공간을 대별하자면 물품 및 서비스 공급자 공간과 소비자 공간으로 분류할 수 있다. 그리고 도시에서 발생하는 이동은 이들 두 종류의 단위 기능 공간, 즉 공급자와 소비자 사이에서 발생한다. 물론 공급자간, 소비자간에도 이동이 발생할 수는 있다. 하지만 이들 간의 이동량은 전체 이동량에 비해 미미하다고 볼 수 있다.

#### 3.1.1 공급자 공간과 소비자 공간 간 이동 발생 구조

도시에서 이동은 공급자 공간과 소비자 공간 상이에서 발생한다. 동일한 공간, 즉 공급자 공간 내 이동 또는 소비자 공간 내 이동은 상대적으로 무시할 수 있는 정도의 규모로 전제한다.

#### 3.1.2 개별 공급자가 유발하는 이동빈도

다음 단계에서는 각각의 개별 공급자가 유발하는 이동량을 파악해야 한다. 사무실과 같은 업무시설과 백화점과 같은 상업 판매 시설은 서로 다른 정도로 이동량을 발생시키기 때문이다. 공급자의 고유 성격 별로 이동량 발생 원단위를 파악해야 한다. 기존의 다수의 연구에서 공급자별 이동량 유발 원단위를 제시하고 있다.[9] 일정 시간 및 일정 면적 단위로 발생하는 이동량을 원단위를 이용할 수 있을 것이다. 이런 경우 원단위는 인/일.1m<sup>2</sup> 로 표현할 수 있다.

#### 3.1.3 개별 공급자가 유발하는 이동량

개별 공급자가 유발하는 이동량은 위에서와 같이 개별 공급자별 이동빈도(원단위 \* 연면적)에 이동발생 건 수별 이동거리의 평균을 곱해주면 된다. 이 경우 개별 공급자의 종류를 자세하게 표현하면 할수록 정확한 이동량을 구할 수 있다.

#### 3.1.4 공급자 공간과 소비자 공간의 구성

국토의이용및계획에관한법률에서는 도시 공간의 용도지역을 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 나누고 있다.[10] 그리고 이러한 분류는 도시계획 및 설계시에도 적용된다.[11] 따라서 도시를 구성하는 단위기능공간은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역을 기본으로 좀 더 구체적으로 세분화된 지역으로 구성된다고 볼 수 있다. 즉 도시를 구성하는 단위기능공간은 필요한 만큼 세분화할 수 있다. 이들 단위 기능 공간들이 상호간에 어떠한 방식으로 공급자 공간과 소비자 공간의 관계

를 맺는지를 파악해 볼 필요가 있다. 또한 특정 공급자 공간에 두 가지 이상의 소비자 공간이 연결되는 경우 다수의 소비자 공간의 특정 공급자 공간 사용 비율을 파악해 볼 필요가 있다. 상업과 주거라는 단위기능공간 간에서는 상업이 공급자 공간이 되고 주거가 소비자 공간이 된다. 주거와 녹지라는 단위기능공간 간에서는 녹지가 공급자 공간이 되고 주거가 소비자 공간이 되지만, 녹지와 상업은 상호간에 공급자 공간으로 기능할 수도 있다. 이러한 관계를 요약해서 말하자면 하나의 단위기능공간은 공급자가 될 수도, 소비자가 될 수도 있으며, 공급자이면서 소비자가 될 수도 있다는 것이다.

단위기능공간 A, B, C가 존재하고 A가 B, C에 대해서 공급자 역할을 한다면 B, C의 사용율을 파악해야 한다. 다시 말해서 A가 공급하는 총량 중에 얼마를 B가 사용하고, 또 얼마를 C가 사용하는지를 알 필요가 있다. 표 1에서 보이는 것과 같은 형식의 정보들이 필요하다. 표 1에서 사용되고 있는 수치들에 대해서는 분석 대상 지역 별로 별도의 연구가 필요하다.

[표 1] 단위기능공간 간의 공급자-사용자 관계 및 사용 비율(%)

[Table 1] Use Ratio between supplier and user space(%)

	상업 지역	공업 지역	주거 지역	녹지 지역
상업지역	0.0	0.1	0.8	0.1
공업지역	0.0	0.0	0.8	0.1
주거지역	0.0	0.0	0.0	0.0
녹지지역	0.5	0.2	0.3	0.0

예를 들어 분석 대상 도시 지역 내에서 상업지역이 유발하는 이동량은 ‘(상업지역 면적 \* 0.1) \* 이동량 유발 원단위 \* 상업지역과 공업지역 간의 평균거리’ + ‘(상업지역 면적 \* 0.8) \* 이동량 유발 원단위 \* 상업지역과 주거지역 간의 평균거리’ + ‘(상업지역 면적 \* 0.1) \* 이동량 유발 원단위 \* 상업지역과 녹지지역 간의 평균거리’로 추산할 수 있다. 이러한 과정을 도시 구성 용도 별로, 즉 공업, 주거, 녹지에 대해서도 동일한 방식으로 추산한 후 합산하여 총 이동량을 계산할 수 있다.

### 3.1.5 도시 구성 단위 기능 공간의 배치에 따른 교통량 추정

분석 대상 도시 지역 내에서 특정지역이 유발하는 이동량은 ‘(특정지역 면적 \* 사용비율) \* 이동량 유발 원단위 \* 특정지역 및 특정지역외지역 간의 평균거리’로 추산할 수 있다. 이러한 과정을 도시 구성 용도 별로 추산한

후 합산을 통하여 총 이동량을 계산할 수 있다.

## 3.2 도시를 구성하는 단위기능공간 배치 표현 모델 개발

### 3.2.1 도시 구성 단위기능공간 배치 표현모델의 구조

앞의 논의를 통해서 신규 도시 개발 시 총 이동량을 추정할 수 있는 프로세스를 개발하였다. 다음 단계에서 필요한 것은 이러한 프로세스 적용이 가능한 도시계획안 표현방법론을 개발하는 것이다. 이는 다시 말하자면 도시 구성 단위기능공간 배치 표현모델이라고 할 수 있다. 앞의 논의에 따르자면 신규 도시 개발 시 - 즉 도시 계획안이 토지이용계획과 교통계획으로 표현되는 경우 - 총 이동량을 추정하기 위해서는 아래와 같은 정보가 필요하다.

- (a) 공급자의 위치, 규모, 용도(예를 들어 주거지역인지, 상업지역인지)
- (b) 소비자의 위치, 규모, 용도(예를 들어 주거지역인지, 상업지역인지)
- (c) 공급자와 소비자 간의 이동 거리
- (d) 공급자 공간의 이동 유발 원단위
- (e) 공급자-소비자 간 사용비율

이런 경우 공급자와 소비자는 폴리곤으로 표시하는 것이 효과적이다. 2차원 평면 상에 폴리곤으로 표시함으로써 공급자와 소비자의 위치를 확정할 수 있다. 폴리곤의 면적 정보는 층 수 정보와 결합하여 공급자의 규모, 즉 연면적에 대한 정보를 제공할 수 있다. 2차원 도면을 이용하여 도시 구성 단위기능공간 배치를 표현한다고 하면 층수 정보 및 공급자의 성격에 관한 정보는 각각의 폴리곤에 연계된 문자형태로 표현하는 것이 효과적이다.

공급자와 소비자 간의 이동거리 정보는 이 둘을 연결하는 도로망을 이용하여 추출할 수 있다. 도로망은 라인(혹은 폴리라인)으로 표현하는 것이 효과적이다. 도로의 성질, 예를 들어 일반도로인지 전철인지를 분별할 수 있도록 도로의 성격을 라인(혹은 폴리라인)에 연계된 문자형태로 표현할 수도 있다.

(d) 정보는 특정 공급자 공간이 1일 단위면적당 얼마나 많은 방문을 유발시키는가에 관한정보이다. (e) 정보는 표 1에서 나타나는 단위기능공간 간의 공급자-사용자 관계 및 사용 비율을 말한다. 이들 정보(d, e)는 도시 구성 단위기능공간 배치 표현모델과 별도로 입력할 수 있도록 한다. 이 정보는 개별 프로젝트 별로 달라질 수 있기 때문이다.

### 3.2.2 호환성 제고를 위한 기존 데이터 구조

공간배치 시뮬레이션을 위해 필요한 데이터의 구조는 위에서 논의한 것처럼 라인(혹은 폴리라인)과 폴리곤으로 표현된 화상정보와 이 화상정보에 연계된 문자정보이다. 본 연구에서는 이러한 구조를 가지고 있는 기존의 데이터 구조를 사용함으로써 호환성을 제고하고자 한다. 기존의 파일 형식(데이터 구조) 중에서 SHP 파일을 사용할 경우 본 연구에서 개발하고자 하는 공간배치 시뮬레이터에서 필요로 하는 정보를 효과적으로 표현할 수 있다. SHP파일은 형상 표현 수단으로 점, 선(라인 혹은 폴리라인), 폴리곤, 면을 제공하며 이들 형상정보는 별도의 테이블 형식으로 표현되는 문자정보와 연계된다.

### 3.2.3 도시 구성 단위기능공간 배치 표현모델

본 연구에서 제안하는 단위기능공간 배치 표현모델이 1), 2)와 같은 조건을 만족시킴으로써 기존의 ‘수치지형도’나 ‘새주소기반전자지도’ 등을 도시 현황 표현에 사용할 수 있게 된다. 기존 도시 현황은 2)의 구조에 부합하는 ‘수치지형도’나 ‘새주소기반전자지도’를 사용하고 도시 계획 지역은 폴리라인과 폴리곤을 이용하여 추가하는 방법으로 도시 구성 단위기능공간 배치 표현모델을 구축하는 방법을 제안한다. 물론 도시 현황도 기존의 ‘수치지형도’나 ‘새주소기반전자지도’를 사용하지 않고 폴리라인과 폴리곤을 이용하여 새롭게 생성할 수 있다.

## 3.3 도시 구성 단위기능공간의 배치에 따른 이동량 추정 애플리케이션 개발

### 3.3.1 애플리케이션의 기본 기능

애플리케이션은

- 특정 폴리곤을 선택하여
- 특정 폴리곤의 속성 정보 추출
- 폴리곤 간의 거리 추출
- 상기와 같은 방식으로 추출된 정보들을 이용하여 사칙 연산을 할 수 있으면 된다.

### 3.3.2 입력 정보

공간배치 시뮬레이션을 위해서 필요한 정보는 두 가지로 대별된다. 하나는 도시계획 안이고, 두 번째는 평가 전제 조건이 되는 값들이다. 도시계획 안은 앞서 언급한 것과 같은 공간배치 표현모델 형식으로 표현되는데 이로부터 단위기능공간의 위치, 규모 등을 추출할 수 있다. 두 번째에 해당하는 것들은 공급자-소비자 간 사용비용, 이동 유발량 원단위 등이다. 이 들 중 두 번째 정보는 평가 중에 필요한 값을 입력할 수 있도록 한다. 두 번째 정

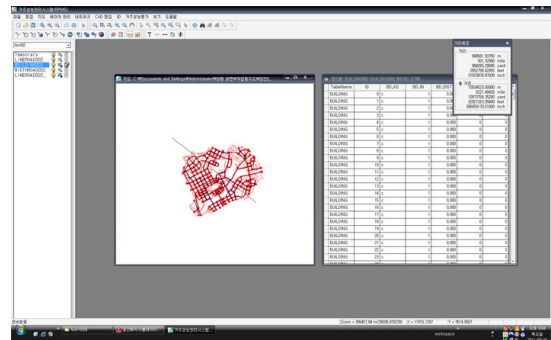
보는 지역적 조건에 따라 달라질 수 있기 때문이다.

### 3.3.3 출력 정보

출력 정보는 평가 대상이 되는 도시계획에 의해 발생하는 이동량이다. 즉 단위시간(1일) 당 발생하는 총 이동 거리를 산출해준다.

### 3.3.4 기존 소프트웨어의 활용

상기에서 논의한 기능은 상용 GIS소프트웨어에서 구현가능하다. 혹은 별도의 엔진을 개발하여 사용할 수도 있다. 본 연구에서는 ‘거주성능관리시스템’을 이용하도록 한다.[12] 그림 3은 ‘거주성능관리시스템’의 인터페이스 구성을 보여준다. ‘거주성능관리시스템’은 DXF, SHP, RMW형식으로 표현된 도시 현황 데이터와 특별한 방식으로 변형된 성능지표를 입력받아서 성능지표별 만족도를 자동으로 평가할 수 있는 애플리케이션이다. 본 연구에서는 ‘거주성능관리시스템’에 상기에서 언급한 바와 같은 애플리케이션 기본 기능을 추가하였다.



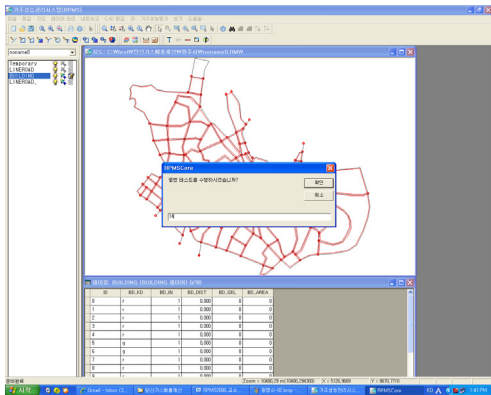
[그림 1] 거주성능관리시스템

[Fig. 1] Residential Performance Management System

## 4. 적용 시뮬레이션

### 4.1 적용 대상지역의 선정

원주, 진주, 남원, 광명, 춘천시를 대상으로 이동량 평가를 실시하였다. 이들 5개 도시는 규모가 유사하며 다른 도시와 인접하지 않아서 도시 외 교통량 발생량이 작다. 이와 같은 이유로 선정하였다.



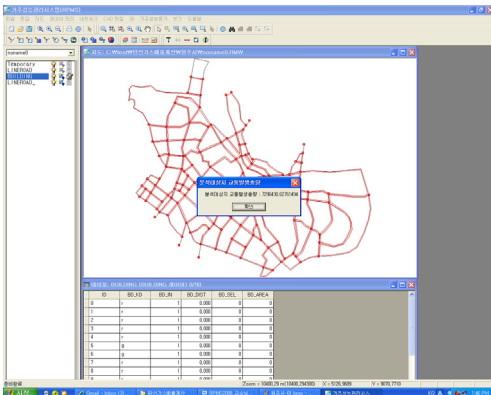
[그림 2] 원주시 토지이용 및 교통계획  
[Fig. 2] Land Use and Transportation Plan for City of Wonju

### 4.2 입력 데이터 작성

도시 설계안은 그림 2와 같이 작성한다. 공급자 및 소비자 공간의 종류는 시뮬레이션을 단순화하기 위하여 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 한정하고 상업지역의 교통유발량은 10인/m<sup>2</sup>\*1일, 공업지역의 교통유발량은 2인/m<sup>2</sup>\*1일, 녹지지역의 교통유발량은 0.1인/m<sup>2</sup>\*1일로 설정한다.[9] 상업지역의 용적율은 600%, 공업지역은 100%, 녹지지역은 100%로 설정하였다.[10] 단위기능공간 간의 공급자-사용자 관계 및 사용 비율은 표 1과 같이 설정한다.

### 4.3 평가 결과 보고

본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 이동량을 평가한 결과 도시별 총 이동거리는 원주 7296431.63km/1일, 춘천 3975978.51km/1일, 진주 5239069.63km/1일, 남원 1833841.17km/1일, 광명 3448478.47km/1일 로 나타났다.



[그림 3] 원주시 시뮬레이션 결과  
[Fig. 3] Result of Simulation(Wonju)

이러한 총 이동거리에 도시 별 교통분담율(개인교통 대 대중교통 비율 = 0.7 : 0.3), 교통수단별 평균 탑승 인원(개인교통 1.2인, 대중교통 15인), 교통기관 별 연비(개인교통 10km/l, 대중교통 8km/l)를 적용한 결과 각 도시별 1일 유류소비량은 원주 443866.26 리터, 춘천 241872.03 리터, 진주 318710.07 리터, 남원 111558.67 리터, 광명 209782.44 리터로 나타났다.

[표 2] 유류 추정 소비량 대 실제 유류 소비량(1일 기준)  
[Table 2] Oil Consumption(per day) : Prediction vs. Real Data

도시	교통발생 총량(km)	계산유류 소비량(L)	실제유류 소비량(L)	비율 (%)
원주	7296431.63	443866.26	464249.00	95.61
춘천	3975978.51	241872.03	366934.00	65.92
진주	5239069.63	318710.07	385922.00	82.58
광명	3448478.47	209782.44	288526.00	72.71
남원	1833841.17	111558.67	154466.00	72.22

이 값들을 각 표 2에서 보이는 것과 같은 도시별 실제 유류 소비량[13]과 비교해본 결과 실제 유류 소비량 대비 추정 소비량이 원주95.61% , 춘천 65.92%, 진주 82.58%, 남원 72.22%, 광명 72.71%로 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과는 평가의 전제 조건, 즉 사용비율, 원단위, 용적율, 개인/대중 교통 분담율, 평균탑승인원, 연비 등을 도시 별로 적절하게 조정(Calibration)한다면 더욱 정확한 유류소비량을 추정할 수 있음을 의미한다.

## 5. 결론

탄소배출량 감축이 매우 중요한 과제로 부상하고 있는 현 시점에서 전체 탄소배출량에서 매우 많은 비율을 차지하고 있는 교통 부문의 에너지 사용량을 축소할 수 있는 효과적인 방법 중의 하나로 효율적인 도시공간배치에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 주요 경향은 전체 도시 공간을 구성하는 단위 공간간의 이동거리를 감소시킬 수 있는 방법을 모색하고 있다는 것이다. 제안되는 특정한 방법이 얼마나 효과적인지를 판단하기 위해서는 그러한 방법에 의해서 배출되는 탄소량과 실제 탄소배출량을 비교함으로써 알 수 있다. 본 연구에서는 도

시 공간 배치 대안 별로 이동량, 특히 차량을 이용한 이동거리를 계산할 수 있는 컴퓨터 애플리케이션을 개발함으로써 가장 최적의 대안을 찾아낼 수 있는 방법을 제공하고자 하였다.

본 연구에서는 도시에서의 이동은 상품 및 서비스 공급자 공간과 사용자 공간 사이에서 발생한다는 점에 착안하여 전체 도시 공간을 다 수의 단위기능공간으로 분할하여 표현하고 이들 간에 발생하는 이동량을 계산하는 방법을 제시하였다. 계산은 다음과 같은 과정을 통해 이루어졌다. 첫 번째 도시공간을 공급자 공간과 소비자 공간으로 나누고 공급자 공간의 교통유발 원단위(인 / m<sup>2</sup> \* 1일)와 용량을 파악한다. 이 정보로부터 공급자 공간이 유발하는 이동발생 빈도(인 / 1일)를 추산할 수 있다. 두 번째로 특정 공급자 공간을 사용하는 소비자 공간과 해당 특정 공급자 공간 간의 평균거리를 구하고 첫 번째 단계에서 구한 공급자 공간이 유발하는 이동 원단위에 이 값을 연면적과 함께 곱해줌으로써 이동량(원단위 \* 연면적 \* 이동거리 / 1일)을 구할 수 있다. 이 이동량에 개인/대중 교통 분담율, 교통수단별 평균 탑승 인원, 교통기관별 연비들을 고려함으로써 에너지 사용량을 추산할 수 있으며, 이로부터 탄소배출량을 계산할 수 있다.

상기와 같은 계산 과정이 가능해지려면 도시 공간 배치를 특정한 형식으로 표현하여야 한다. 그러한 특정한 방식이라 함은 특정 공간의 성격(즉 공급자 공간인가 또는 소비자 공간인가)을 알 수 있고 공급자 공간의 용량을 파악할 수 있으며 또한 특정 단위 공간과 또 다른 단위공간 간의 거리를 계산하는데 필요한 정보를 포함하고 있는 방식을 의미한다. 본 연구에서는 위와 같은 정보를 보유할 수 있는 특정한 공간배치 표현 방식을 제안하였다. 그것은 이동량(궁극적으로는 탄소배출량) 계산을 위해서 필요한 정보를 보유하고 있을 뿐만 아니라 전통적인 도시 설계 및 계획 표현 방법과 유사하며 이와 함께 기존의 도시 관련 정보들을 효과적으로 사용할 수 있는 형식이 되도록 하였다. 결과적으로 본 연구에서는 단위 기능 공간을 폴리곤으로 그리고 단위 기능 공간 간의 연결 관계를 표현하는 동선체계, 즉 도로망은 폴리라인으로 표현하는 방식을 제안하였다.

위와 같은 연구 방법 및 과정을 통해서 개발된 (a) 도시 공간 배치 표현 방법과 (b) 도시 공간 배치에 따른 이동량 계산 방법을 기반으로 컴퓨터 애플리케이션을 개발하였다. 이 컴퓨터 애플리케이션은 (a) 도시 공간 배치안, (b) 단위 기능 공간의 분류, (c) 개별 단위 공간 간의 사용 비율, (d) 개별 단위 공간이 상품 및 서비스 공급자 공간으로서 유발하는 이동 발생 원단위를 필요로 한다. 이 값을 근거로 탄소가스 배출량을 추산하기 위해서는 (e) 개

인/대중 교통 분담율 (f) 차량 1 대 당 평균 탑승 인원, (g) 차량의 평균 연비, (h) 에너지 사용량 당 탄산가스 배출량과 같은 입력 정보가 필요하다. 이와 같은 정보를 이용하여 도시 공간 배치 대안 별로 탄산 가스 배출량을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 컴퓨터 애플리케이션을 특정한 테스트 케이스들에 적용하여 1일 유류 소비량 계산이 기대한 바대로 가능함을 보였다. 여기서 특별하게 강조할 부분은 테스트 케이스에서는 단위기능공간을 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로만 분류하였지만 필요에 따라 얼마든지 더욱 세밀한 분류가 가능하며 이에 따라 더욱 정밀한 이동량(유류소비량 및 탄산가스 배출량) 추정이 가능해진다는 점이다.

향후 위에서 언급한 입력 정보들 중에서 (b) 단위 기능 공간의 분류, (c) 개별 단위 공간 간의 사용 비율, (d) 개별 단위 공간이 상품 및 서비스 공급자 공간으로서 유발하는 교통 원단위, (e) 개인/대중 교통 분담율, (f) 차량 1 대 당 평균 탑승인원, (g) 차량의 평균연비, (h) 에너지 사용량 당 탄산가스 배출량과 같은 부분들에 대한 연구를 추가적으로 진행함으로써 더욱 정밀한 탄소배출량 계산이 가능해 질 수 있다.

## References

- [1] Ministry of Land / Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and planning, Guidebook for 2010 Construction and Transportation R & D Project 22nd Announcement(Future Core Technology Preliminary Project), 2010.
- [2] Korea Energy Economics Institute, Yearbook of Energy Statistics, 2007.
- [3] Seung Il Lee, Development Scheme of a Land-Use Transportation Model for Korea's Large Cities toward a Low-Carbon-Energy-Saving City, Journal of Korea Planners Association, v.45 n.1, 2010.02.
- [4] Min Ju Kim, Ji Chung Yang, Chang Mu Jung, A Study on the Effect of Mixed Land-Use on Carbondioxide Emission, Journal of Korea Planners Association, v.45 n.6. 2010. 11.
- [5] Dong Kun Lee, Chan Park, CO2 Emission Variation Estimation Method on Development Site Level and Its Application, Journal Of Korea Planners Association, v.45 n.6, 2010. 11.
- [6] Kun Hyuck Ahn, A Study of the Correlation between Variables of Urban Form and Energy Consumption, v.35 n.2, 2000. 04.



- [7] Hee Yeon Lee, The Application of Planning Support System for the Urban Growth Management, Journal of Korea Planners Association, v.42 n.3, 2007. 06.
- [8] Kyu Il Kim, Chang Hyo Yi, Seung Il Lee, A Scenario Analysis on Transport Energy Consumption and Carbon Emission Using DELTA, Journal of Korea Planners Association, v.45 n.6, 2010. 11.
- [9] Busan Metropolitan Corporation, Traffic Impact Assessment and Reform Measures for Industrial Park in Busan New Port Area International Industry & Logistics City(1st stage), 2009.
- [10] Dong Chan Jang, Commentary of Building Codes, Kimundang, 2005.
- [11] Gun Hyuck Ahn, District Unit Planning, Urban Design Institute of Korea.
- [12] Ministry of Land / Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and planning, Annual Report(3rd Year) of R & D Project for Region-based Technology : Residential Performance Evaluation System, 2008.
- [13] Hak Yong Kim, The Relationship between Urban Form and Energy Consumption, Hanyang University, Master's Thesis, 2001.

---

**이 상 현(Sanghyun Lee)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 (공학 학사)
- 1995년 4월 : The University of Michigan (M.Arch.)
- 1999년 3월 : Harvard University (Doctor of Design)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 건축대학 건축학부 부교수

<관심분야>  
BIM, GIS