

# 도시공간구조와 에너지 사용량 간의 상관관계 분석

## Correlation Analysis Between Urban Spatial Structure and Energy Consumption

이상현\* · 오규식

Sangheon Lee\* · Kyushik Oh

한양대학교 도시공학과

shlee0901@gmail.com\* · ksoh@hanyang.ac.kr

### 1. 서론

기후변화는 이상기후, 해수면 상승, 생태계변화 등을 수반하여 인간의 생존까지 위협할 수 있다. 따라서 교토의정서 이후 2009년 말 코펜하겐에서 기후변화회의가 개최되는 등 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 노력이 진행 중이다. 이러한 기후변화는 온실가스의 배출로 인한 기온상승에 의한 것으로, 온실가스배출을 감축하기 위해 친환경 에너지, 신재생에너지의 사용 등의 방법이 시도되고 있다. 도시계획적 관점에서 보면 탄소중립도시, 압축도시 등이 대안으로 제시될 수 있다. 이중 탄소중립도시는 도시에서 사용되는 에너지원을 친환경에너지로 전환하여 온실가스의 배출을 방지하는 것을 주요 내용으로 하고 있다. 이에 반해 압축도시는 도시 구조적 측면에서 지속가능성을 실현하기 위한 접근 방법으로, 토지이용을 혼합하여 고밀도로 개발함으로써 인구의 통행거리를 감소시키고, 이에 따라 에너지의 사용을 절감할 수 있다. 즉, 압축도시는 보다 도시계획적인 차원에서 도시의 에너지 사용 측면에서 효율적인 공간구조를 구축하는 것을 목표로 한다. 따라서 본 연구에서는 어느 정도로 압축 개발된 도시가 에너지 사용량을 절감할 수 있는지 공간통계기법을 도입하여 알아본다.

### 2. 관련 연구 동향

고밀로 개발된 도시에서 1인당 교통에

너지의 사용량이 적게 나타난다는 대표적인 연구로는 Newman과 Kenworthy(1989)의 연구가 있다. 이는 전 세계 32개의 도시를 대상으로 도시의 밀도와 1인당 교통에너지 사용량이 부의 관계에 있다는 것을 증명하였다. 이외에도 Holden과 Norland(2005), 안건혁(2000) 등의 연구에서 이를 증명하고 있다. 이에 반해 Breheny(1995)는 고밀개발이 경제, 사회, 문화적 이득은 있을지 모르나 에너지 사용과는 큰 연관이 없다고 반박했고, Stead(2001)는 고밀개발보다는 사회, 경제적인 여건이 에너지 소비에 더 큰 영향을 끼친다고 반박했다. 이외에도 Steemers(2003)의 연구에서는 교통에너지가 아닌 전기에너지의 사용량과 용적률 간에 정의 관계가 있다는 결과가 나타나 있다.

### 3. 분석방법

도시공간구조를 계량화하기 위해 공간통계기법을 사용한다. 사용되는 지표로는 Gini 계수, Moran's I 지수, 표준편차거리가 있다.

Gini 계수는 불균형 정도를 측정하는 지표로 불균형 정도가 심할수록 1에 가까워 나타나고, 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Gini = 0.5 \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|$$

Moran's I 지수는 공간자기상관을 측정할 수 있는 지표로, 1에 가까울수록 공간자기상관이 심해 고밀도 지역이 집중되어 있고, 0에 가까우면 공간자기상관이 없는

즉 임의적인 분포형태임을 나타낸다. 만일 Moran's I 값이 -1에 가깝다면 공간적으로 완전하게 분산된 형태임을 나타낸다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Moran = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - X)(X_j - X)}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij})(X_i - X)^2}$$

마지막으로 공간에서의 표준편차거리는 어떤 분포의 평균중심으로부터의 분산 정도를 측정하는 지표로 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$d^2 = \frac{\sum_{i=1}^n q_i [(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2]}{\sum_{i=1}^n q_i}$$

#### 4. 사례연구

본 연구에서는 우리나라 7대 도시(서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 광주, 울산)를 대상으로 도시공간구조에 따른 에너지 사용량 차이를 분석했다. 대상 도시들은 면적이 크고, 인구가 많기 때문에 각 구별로 나누어 자료를 구축했다.

우선 에너지 사용량은 석유 소비량과 전기사용량으로 구분하여 자료가 구축되었다. 각 도시별로 산업의 비율이나 산업구조가 다르게 나타나므로 산업부분에 따른 에너지 사용량은 분석에서 제외되었다. 또한 공간통계기법을 적용하기 위해 건물의 연면적 자료를 10kmx10km격자 단위로 변환하여 분석에 사용하였다.

분석결과 인구밀도와 용적률이 높을수록 1인당 석유소비량이 감소한다는 결과를 도출했다. 이는 Newman과 Kenworthy (1989)의 연구결과와 일치하는 것으로 고밀도로 개발할수록 교통에너지의 사용량이 줄어들음을 의미한다. 하지만 전기에너지의 경우 인구밀도나 용적률과는 큰 연관성이 없는 것으로 나타났다. 또한 도시 전체의 에너지사용량과의 관계를 알아보기 위하여 석유소비량과 전기소비량의 단위를 통합하여 분석해본 결과 고밀로 개

발이 될수록 에너지 소비량은 감소하는 것으로 나타났다(표 1).

표 1. 도시 특성과 에너지사용량간의 상관관계

구분	인구밀도	용적률
1인당 석유소비량	- 0.528 (0.000)	- 0.430 (0.000)
1인당 전기소비량	-	-
1인당 에너지소비량	- 0.564 (0.000)	- 0.383 (0.001)

도시공간구조와 에너지의 관계를 살펴보면 Moran's I 값이 높을수록, 즉 군집이 많이 일어날수록 1인당 석유소비량은 줄어든다는 결과가 나타났다. 하지만 전기 소비량의 경우 군집이 일어날수록 증가하는 추세를 보인다. 이러한 상반된 영향에 의해 고밀지역의 군집정도에 따른 도시 전체 에너지소비량은 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 표준편차거리를 살펴보면 값이 클수록 석유, 전기, 전체 에너지의 사용량이 증가한다는 상관관계가 나타났다. 즉, 보다 단일도시에 가까운 형태가 에너지소비량의 측면에서 효율적이라는 결론을 도출했다(표 2).

표 2. 공간통계값과 에너지사용량간의 상관관계

구분	Moran's I	표준편차거리
1인당 석유소비량	- 0.249 (0.037)	0.296 (0.012)
1인당 전기소비량	0.257 (0.031)	0.284 (0.016)
1인당 에너지소비량	-	0.318 (0.007)

#### 5. 결론

인구밀도 및 용적률은 1인당 석유사용량과 상당한 정도의 음의 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌지만, 전기 사용량의 경

우 상관관계가 나타나지 않았다. 따라서 고밀개발은 교통에너지의 사용량에만 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 도시 공간구조에 따른 에너지 사용량을 살펴보면 공간적으로 군집될수록 석유 소비량은 감소하고, 에너지 사용량은 증가하는 상관관계를 나타냈다. 또한 표준편차거리가 클수록, 즉 공간적으로 분산될수록 석유와 전기 소비량이 많아지는 것을 볼 수 있었다. 즉, 도시 내 고밀의 지역들이 군집을 이루고 분산되지 않을수록 석유사용량이 줄어들고, 공간적으로 군집된 정도가 약하고 분산되지 않을수록 전기사용량이 감소한다는 결론을 얻었다.

하지만 사례연구 대상지들은 모두 대도시들로서 모두 인구밀도가 높게 나타나고, 공간적으로 불균형정도, 군집된 정도가 높게 나타나는 지역들로 한정됐다는 연구의 한계가 있다. 또한 물리적인 공간구조 지표만 사용되었을 뿐 사회, 경제적인 변수들에 대한 추가적인 고려가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] P. W. Newman and J. R. Kenworthy, "Gasoline Consumption and Cities: A Comparison of U.S. Cities with Global Survey", *Journal of the American Planning Association*, Vol. 55(1), pp. 24-37, 1989.
- [2] M. Breheny, "The compact city and transport energy consumption", *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol. 20(1), pp. 81-101, 1995.
- [3] 안건혁, "도시형태와 에너지활용과의 관계 연구", *국토계획*, Vol. 35(2), pp. 9-17, 2000.
- [4] D. Stead, "Relationships between land use, socioeconomic factors, and travel patterns in Britain", *Environment and Planning B. Planning and Design*, Vol. 28, pp. 499-528, 2001.
- [5] K. Streemers, "Energy and the City: density, buildings and transport", *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 3-14, 2003.
- [6] E. Holden & I. T. Norland, "Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form: Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Region", *Urban Studies*, Vol. 42(12), pp. 2145-2166, 2005.
- [7] Y. Tsai, "Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl'", *Urban Studies*, Vol. 42(1), pp. 141-161, 2005.
- [8] 조운애, 김경환, "도시개발 밀도가 에너지 효율성에 미친 영향", *한국정책학회보*, Vol. 17, pp. 113-135, 2008.
- [9] 조운애, "압축도시와 교통에너지소비의 관계에 대한 실증연구: 7대 광역도시를 중심으로", *한국사회와 행정연구*, Vol. 19, pp. 113-132, 2009.