

## 도시특성과 기후특성이 지역 에너지사용량에 미치는 영향에 관한 연구

이 동 성\* · 문 태 훈\*\*

### The Impacts of Urban and Climate Characteristics on Regional Energy Consumptions

Lee, DongSung · Moon, Tae Hoon

Doctoral student, Chung Ang University

· Professor, Chung Ang University

**Abstract:** With increasing concerns on climate change, studies on energy saving urban structure are increasing rapidly too. This is because climate change is directly related to energy consumption. However, most studies on energy consumption in urban area have not paid due attention to impact of climate characteristics on urban energy consumption. In this context, this paper aims to study impact of both urban and climate characteristics on energy consumption in urban areas. For this purpose, this study used general linear regression, geographically weighted regression(GWR) and GIS analysis using data on 193 si-gun-gu(cities, counties, and districts). Research result with general regression analysis shows that local economic condition affect energy consumption per capita positively while characteristics of compact city have negative impact on energy consumption per capita. With regard to climate characteristics of cities, cooling degree days and heating degree days has statistically significant impact on energy use. Results from GWR analysis also shows that urban and climate characteristics are different from city to city and so does their level of impact on energy consumption. Since both urban and climate characteristics have meaningful impact on urban energy consumption, this paper argued that it is necessary to make and implement climate change policy and plan with close consideration of regional characteristics, including both urban structure as well as climate characteristics.

**Key Words:** 도시특성(Urban Characteristics), 기후특성(Climate Characteristics), 에너지소비(Energy Consumptions), 지리가중회귀모형(Geographically Weighted Regression Model, GWR)

---

\* 중앙대학교 도시계획·부동산학과 박사과정(주저자)

\*\* 중앙대학교 도시계획·부동산학과 교수(교신저자)

## 1. 서 론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

기후변화로 인한 폭염·폭우·한파 등 이상기후 현상, 해수면 상승, 생태계 파괴 문제 등 사회적·경제적·환경적 피해는 점차 커지고 있고, 2015년 파리협약 등 기후변화 문제를 해결하기 위한 국제적 노력도 강화되고 있다. 기후변화의 원인으로 알려진 온실가스 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 이산화탄소는 에너지소비에서 가장 많이 배출되고 있으므로 기후변화를 완화하기 위해 에너지소비 감축이 가장 중요하다.

에너지소비와 관련하여 기후변화 문제만큼 이슈가 되고 있는 문제는 석탄, 석유 등 1차 에너지원의 고갈이다. 1차 에너지원으로 인해 현 문명이 만들어졌다고 해도 과언이 아니다. 하지만 1차 에너지원은 지속적으로 고갈되고 있고, 수요-공급의 원칙에 의해 멀지 않은 미래에 에너지 가격은 급속히 증가할 전망이다. 특히 우리나라와 같이 에너지 해외의존도가 높은 국가의 경우, 이로 인한 피해는 더 클 수밖에 없다.

이렇듯 기후변화 문제 및 피크오일 문제<sup>1)</sup>에 대응하여 에너지소비를 줄이기 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 특히 도시의 에너지소비에 대해서는 도시의 공간적 특성에 주목하는 연구가 활발히 이루어져왔다. 그러나 도시특성과 기후특성을 함께 고려한 연구는 미흡한 상태이다. IPCC(2014)에 의하면 전 세계의 평균기온은 지속적으로 상승하고 있고, 우리나라 기상청은 한반도의 온도상승은 세계평균보다 훨씬 더 큰 폭으로 상승할 것으로 예측하고 있다(기상청, 2014). 또한 폭염, 한파, 폭우, 가뭄 등과 같은 이상기후 현상의 증가는 에너지, 특히 전력 소비에 큰 영향을 미친다. 이러한 맥락에서 본 연구는 도시특성과 기후특성을 함께 고려하여 이들이 지역 에너지사용량에 미치는 영향을 파악하는 것이 목적이다. 그리고 지역 에너지소비에 영향을 주는 도시특성과 기후특성을 지역별로 파악하고 이에 따른 정책적 함의를 찾아보고자 한다.

### 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2010년으로 설정하였다. 또한 연구의 공간적 범위는 기본적으로 제주도를 제외한 전국 228개의 시·군·구를 대상으로 진행하였다. 하지만 이 중 기상청에서 제공하는 관측소 측정 온도가 누락된 35개<sup>2)</sup>의 지역을 제외하였고, 결과적으로 분석에 포함시킨 총 지역은 193개의 시·군·구이다.

본 연구의 분석으로 일반회귀모형, 지리가중회귀모형 두 가지 방법을 사용하였다. 도시특성과 기후특성이 지역 에너지사용량에 어떠한 영향을 미치는지 전반적으로 살펴보기 위하여 일반회귀모형을 사용하였다. 하지만 일반회귀모형의 경우 지역별 공간적 특수성을 설명하지 못하기 때문에 지리가중회귀모형을 사용하여 지역별로 에너지사용량에 미치는 영향력을 파악하였다.

## 2. 에너지소비에 영향을 미치는 요인들에 관한 선행연구

에너지소비에 영향을 미치는 요인들에 관한 선행연구들을 살펴보면, 대부분의 연구들이 에너지소비를 가구에너지 소비와 교통에너지 소비로 나누어 연구를 진행하였다. 먼저 가구 에너지소비에 관한 선행연구는 도시특성 요인을 가구특성, 경제특성, 주택의 물리적 특성, 도시 공간적 특성으로 구분하여 분석을 진행하였다. 가구특성 및 경제특성 요인으로서는 가구의 소비와 구성원(Ewing et al, 2008; Steemer et al, 2009; Yun et al, 2011), 여성비율(Fong et al, 2007; 노승철 외, 2013, 정재원, 2015), 연령(Fong et al, 2007; Steemer et al, 2009; Yun et al, 2011; 노승철 외, 2013), 소득(Ewing et al, 2008; Steemer et al, 2009; Yun et al, 2011; 강창덕, 2011; 원두환, 2012; 노승철 외, 2013) 등이 있었다. 또한 도시공간구조 특성으로는 인구밀도, 고용밀도, 도심지역 여부와 같은 압축개발<sup>3)</sup> 요소가 가구에너지소비에 영향을 미친다고 주장한다(Ewing et al, 2008; 강창덕, 2011; 정재원, 2015).

에너지소비 중 교통에너지소비와 관련된 선행연구들을 살펴보면, 해외 선진국들은 1990년대부터 압축형 도시개발이 교통에너지 소비를 감축시킬 것이라는 주장의 연구논문들이 많이 발표되었다(Newman et al, 1989; Rickaby, 1992). 국내에서는 최근 들어 교통에너지와 압축형 도시개발에 대한 연구들이 발표되기 시작하였다. 대부분의 연구에서는 우리나라에서도 압축개발이 교통에너지를 감축시킨다고 주장하였다(안건혁, 2000; 조윤애 외, 2008; 구형수 외, 2009; 김리영 외, 2011; 김보현 외, 2013; 이갑정 외, 2013).

최근 들어 전 세계적으로 기후변화가 문제가 심각해짐에 따라 앞서 살펴본 도시특성들 뿐만 아니라 기후변화가 에너지소비에 영향을 미친다는 주장의 연구들이 등장하고 있다(Ewing et al, 2008; Steemer et al, 2009; Yun et al, 2011; Fullerton et al, 2000; 임상수, 2009; 2012; 임현진 외, 2013). 즉, 온도특성이 에너지소비에 영향을 미칠 것이라는 연구들이 등장하기 시작하였는데, 대부분의 연구들에서는 온도특성을 냉방도일과 난방도일로 나타내어 장기간의 시계열 분석으로 연구를 진행하였다. Steemer et al(2009)은 가구 에너지에 영향을 미치는 요인을 건물의 물리적 특성과 기후영향 뿐만 아니라 거주자의 사회경제적

특성까지 고려하여 파악하였다. 분석결과, 가구의 에너지 소비에 직접적으로 영향을 미치는 변수로는 기후와 거주자의 행동적인 측면, 그리고 사회경제적 측면으로 나타났다. Yun et al(2011)은 기후변화가 지속됨에 따라 가정용 에너지 사용이 증가함을 파악하고, 특히 냉방 소비에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하였다. 분석결과, 냉방 소비에 영향을 미치는 주요 요인으로 물리적 특성에서는 냉방의 종류, 사회경제적 요인에서는 가구의 소득으로 나타났다. Fullerton et al(2012)은 기후변화와 전력수요 간의 관계를 살펴보기 위해 시애틀을 대상으로 분석을 진행하였는데, 난방도일지수의 경우 전력수요에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 임현진 외(2013)는 지구온난화가 가정 부문 전력수요에 미치는 영향을 ARDL모형과 오차수정모형을 통해 장·단기적으로 파악하였다. 분석결과, 냉방도일은 가정용 전력수요에 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 난방도일에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

기존연구와 본 연구의 차별성은 우선 기존연구들이 에너지소비를 감축시키기 위한 도시구조를 모색하는데 집중하였으나 이 연구는 도시구조와 기후특성이 에너지소비에 미치는 영향을 함께 파악한다는 점에 있다. 그리고 기존연구들은 회귀분석 및 시계열분석을 통해 에너지소비에 영향을 미치는 요인들을 파악하는데 중점을 두었으나 본 연구는 지리가중회귀모형을 통해 각 요인들이 에너지 소비에 미치는 영향력의 지역 간 차이를 파악한다는 점에서 기존연구들과 차별성을 가진다.

### 3. 분석의 틀

#### 3.1. 변수의 구성

에너지사용량에 영향을 미치는 요인들은 기존연구에서 살펴보았듯이 크게 가구특성, 경제특성, 주택 물리적 특성, 도시공간특성, 교통시설특성, 기후변화특성으로 구분되는데, 본 연구에서는 이러한 특성 중 상관분석과 다중공선성 검토(VIF)를 통해 <표 1>와 같이 변수를 추출하였다.

〈표 1〉 변수의 구성 및 출처

	구분	변수 설명	출처
종속변수	1인당 에너지사용량(TOE)	전력 및 석유소비량/주민등록인구	한국전력공사, 한국석유공사
독립변수	가구원수(인)	평균 가구원수	통계청 인구총조사
	1인당 지방세 납부액(천원)	총 지방세 납부액/주민등록인구	행정자치부 지방세정연감
	재정자립도(%)	재정자립도	행정자치부 지방자치단체 예산개요
	인구밀도(인)	주민등록인구/ 행정구역 면적	행정자치부 주민등록인구현황
	녹지면적(Km <sup>2</sup> )	용도지역기준 녹지면적	한국토지주택공사 도시계획현황
	공업면적(Km <sup>2</sup> )	용도지역기준 공업면적	한국토지주택공사 도시계획현황
	혼합토지이용(%)	(상업+준주거)/(주거+상업+공업)*100	한국토지주택공사 도시계획현황
	수도권여부(더미)	수도권여부 더미	한국토지주택공사 도시계획현황
	1인당 승용차등록대수(대)	승용차등록대수/주민등록인구	행정자치부 한국도시통계
	냉난방도일(도일)	냉방도일+난방도일	기상청 기상자료개방포털

기존 연구들에서는 일반적으로 에너지사용량을 한국전력공사에서 제공하는 전력사용량 자료, 또는 한국석유공사에서 제공하는 석유사용량 자료를 사용하였다. 본 연구에서는 각기 다른 단위를 가지고 있는 전력사용량, 석유사용량 자료를 석유환산톤계수<sup>4)</sup>를 이용하여 TOE<sup>5)</sup>(Tonne Oil Equivalent, TOE)로 변환한 후 합하여 종속변수로 활용하였다. 지역에너지 사용량을 나타낼 수 있는 에너지원으로는 전력과 석유 이외에도 석탄, 도시가스, 열에너지, 기타 등이 존재하지만 전력과 석유를 제외하고는 시·군·구별로 자료구축이 불가능하여 분석에서 제외하였다. 통계청(2010)에 따르면 전력과 석유가 총 에너지에서 차지하는 비중이 73.2%이기 때문에 각 지역의 에너지소비를 상당부분 표현할 수 있다고 판단하였다.

설명변수로는 에너지를 직접적으로 소비하는 가구에 대한 특성으로 가구원수를 사용하였다. 가구와 관련된 다른 변수들로는 1인 가구, 연령, 성별 등이 있는데 이러한 특성은 다른 도시특성 변수들과의 다중공선성 문제로 인해 제외하였다. 또한 기존 연구들에서는 에너지 사용량에 영향을 미치는 요인으로 경제적 특성을 언급하였다. 따라서 경제력에 따른 에너지 소비의 변화를 통제하기 위하여 1인당 지방세 납부액과 재정자립도를 설명변수로 선정하였다. 도시의 공간적 특성을 나타내는 변수로는 인구밀도, 녹지면적, 공업면적, 혼합토지이용, 수도권여부를 사용하였다. 도시의 공간적 특성에서 특히 인구밀도와 혼합토지이용, 수도권

여부 변수는 도시의 압축도를 설명하기 위한 변수로 사용하였다. 또한 공업면적, 그리고 혼합토지이용은 산업부분의 에너지소비를 나타내기 위한 변수로도 사용하였다. 기존연구들에서도 이러한 변수를 활용하여 산업부문에서 발생하는 에너지소비를 나타내고 있다.<sup>6)</sup> 또한 기후변화 특성으로는 냉방도일<sup>7)</sup>과 난방도일<sup>8)</sup>을 사용하려고 하였지만 냉방도일과 난방도일은 높은 음의 상관성을 가지고 있기 때문에 두 변수를 같이 사용할 수 없어 이들의 합인 냉난방도일을 사용하였다. 난방도일의 기준온도는 18℃를 일반적으로 사용한다. 또한 냉방도일의 기준온도는 18~24℃가 사용되고 있다. 임현진 외(2013)에 의하면 우리나라의 경우 냉방도일의 증가추세는 18℃를 기준으로 하였을 때 더 뚜렷하게 파악할 수 있다고 한다. 따라서 본 연구에서도 냉방도일의 기준온도를 18℃로 설정하여 지역별 냉방도일을 구축하였다. 냉방도일과 난방도일은 지역의 온도를 기반으로 지역별로 추출하였다. 온도를 측정할 수 있는 관측소는 지상기상관측소 91개와 방재기상관측소 479개가 운영되고 있는데, 각 시군구에 복수의 기상관측소가 있는 경우 이들 관측소의 온도를 평균하여 냉난방도일을 추출하였다.

### 3.2. 변수의 기초 통계량

〈표 2〉는 실증분석에 사용한 자료의 기술통계를 요약한 표이다. 먼저 분석에 사용된 실제 표준 수는 전체 230개의 시·군·구에서 37개를 제외한 193개의 시·군·구를 대상으로 진행하였다. 37개의 지역을 제외한 이유는 첫째, 앞서 설명한 온도에 대한 자료를 구축하기 위한 작업에서 관측소가 없는 지역을 제외시켰기 때문이다. 또한 관측소가 지역에 존재하더라도 기상이변의 이유로 관측소에서 온도를 측정 못하는 경우가 발생하는데, 이러한 경우 냉방도일과 난방도일을 정확하게 측정할 수 없기 때문에 표본에서 제외하였다.

종속변수인 1인당 에너지사용량은 2010년을 기준으로 연간 최소 0.67TOE에서 최대 12.78TOE로 나타남을 알 수 있다.

〈표 2〉 변수의 기초 통계량

변수	N	최소값	최대값	평균	표준편차
1인당 에너지사용량	193	0.67	12.78	2.57	1.99
가구원수	193	2.00	3.00	2.50	0.25
1인당 지방세 납부액	193	299.51	7421.88	871.94	809.55
재정자립도	193	8.6	82.9	27.54	16.84
인구밀도	193	19.34	28719.18	3213.72	6288.57
녹지면적	193	0.00	411.28	55.53	72.01
공업면적	193	0.00	54.26	4.50	8.09
혼합토지이용	193	0.01	0.36	0.08	0.04
수도권여부	193	0.00	1.00	0.275	0.44
1인당 승용차등록대수	193	0.20	0.40	0.25	0.05
냉난방도일	193	2726.40	4409.30	3617.92	337.45

### 3.3. 분석 방법 - 지리가중회귀모형

지리가중회귀모형(Geographically Weighted Regression, GWR)은 국지적인 공간지역 회귀 모델의 집합체를 나타내는, 즉 각 공간마다 회귀계수 값을 기술하는 회귀분석방법이다 (Fotheringham et al, 2002). 지리가중회귀모형은 일반회귀모형보다 공간적 특수성을 더욱 잘 설명해준다는 장점을 가지고 있다. 회귀계수가 공간을 기준으로 서로 다르다는 것을 전제로 한 지리가중회귀모형은 연구공간의 회귀분석 중심점을 선정하고, 기준거리를 설정하여 그 거리 내에서 회귀분석을 시행하는 것이다.

일반회귀모형의 식은 (1.1)과 같이 나타낼 수 있는데, 지리가중회귀모형은 (1.1)에 좌표  $(u_i, v_i)$ 를 부여하여 (1.2)와 같은 지역적인 구조의 식으로 확장된 것이다.

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ik} + \epsilon_i \quad (1.1)$$

$$y_i = \beta_o(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \epsilon_i \quad (1.2)$$

여기서  $(u_i, v_i)$ 는  $i$ 번째 회귀분석 중심점의 좌표를 의미한다.  $\beta_k(u_i, v_i)$ 는  $i$ 번째 회귀분석 중심점의  $k$ 번째 독립변수의 회귀계수를 의미하는데 이 회귀계수는 위치에 따라 가중치가 부여되게 된다. 즉, 가중치 행렬  $W(u_i, v_i)$ 을 바탕으로 회귀계수 결정 식을 구하면 다음과 같다.

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \quad (1.3)$$

가중치 행렬  $W(u_i, v_i)$ 은 가중함수인 커널(kernel)에 따라 계산되게 되는데, 회귀점을 기준으로 일정한 거리 내의 사례에 대한 공간 가중치를 부여한다. 커널의 종류는 Fixed kernel과 Adaptive kernel로 구분된다. Fixed kernel이란 가중치를 만드는 대역폭(Bandwidth)이 고정되어 있는 경우를 말하고, Adaptive kernel이란 사례 수에 따라 서로 다른 대역폭을 적용하는 경우를 말한다. Fixed kernel은 일정한 공간 범위 내의 사례를 기준으로 가중치를 부여하게 된다. 따라서 사례수에 따라 가중치가 달라지는 문제가 발생하게 된다. 이에 반하여 Adaptive kernel은 일정한 사례수를 기준으로 하여 좀 더 안정적인 가중치를 계산할 수 있다(강창덕, 2010). 이에 본 연구 또한 Adaptive kernel을 활용하여 가중치를 부여하였다.

지리가중회귀모형의 적합성에 대한 확인은 모형의 부합도 및 잔차의 자기상관을 측정함으로써 가능하다(김혜영, 2012). 모형의 부합도는 결정계수  $R^2$ 와 AIC를 통해 확인할 수 있다. 결정계수  $R^2$ 는 모형의 설명력을 나타내는 값으로 지리가중회귀모형과 일반회귀모형 중 어떠한 모형이 더 설명력이 높은지 여부를 판단하기 위해 사용된다. 또한 Akaike(1974)가 제안한 AIC(Akaike Information Criterion)는 지리가중회귀모형을 사용할 경우 설정되는 회귀점에 대해 어느 정도의 대역폭을 사용해야하며, 일반회귀모형에 비해 어느 정도 모형이 개선되었는지를 파악하는데 사용된다. 일반적으로 모형의 AIC값 간 상대적으로 낮은 AIC값을 가질수록 더 나은 모형으로 판단하며, AIC값의 절대량은 의미가 없다.

다음으로 잔차의 자기상관성을 파악하기 위한 방법으로는 일반적으로 Moran's I가 가장 많이 사용되고 있다. Moran's I는 높은 지수값을 가질수록 군집의 경향이 크다고 판단하고, 0에 가까울수록 군집이 아닌 독립적인 성격을 가진다고 판단한다. 즉, Moran's I 값이 클수록 공간적인 특수성을 고려하지 못했다고 파악할 수 있다.

본 연구에서는 지리가중회귀모형이 공간적 특수성을 보다 잘 설명해줄 것이라는 것을 확인하기 위해 앞서 언급한 결정계수  $R^2$ 와 AIC, Moran's I값을 활용하였다.

## 4. 분석 결과

### 4.1. 일반회귀모형 실증분석 결과

도시특성과 기후특성이 지역 에너지사용량에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위한 첫 번째 작업으로 일반회귀모형을 통한 분석을 실시하였다. 모형은 전국 193개의 시·군·구 표본을 대상으로 모형1과 모형2로 구분하였다. 모형 1의 경우 가구특성(가구원수), 경제특성(1



인당 지방세 납부액, 재정자립도), 도시공간특성(인구밀도, 녹지면적, 공업면적, 혼합토지이용, 수도권여부, 1인당 승용차등록대수)과 같은 도시에 대한 전반적인 특성과 기후특성(냉난방도일)을 모두 포함한 모형이다. 반면에 모형2는 기후특성을 제외하고 도시특성만으로 구축한 모형이다. 모형을 모형1과 모형2로 구분한 이유는 첫 째, 기후특성이 포함된 모형과 기후특성이 포함되지 않은 모형의 조정된 결정계수 값 비교를 통해, 기후특성이 포함 됨에 따라 결정계수 값이 얼마나 증가하는지 파악하는 것이다. 회귀분석에서 오차항이 없는 경우가 가장 이상적인 모형이라고 불린다. 따라서 대부분의 연구들은 이 오차항을 최소화시키기 위한 변수를 지속적으로 찾아가는데 있다. 본 연구에서도 기후특성이 포함됨에 따라 모델의 설명력이 얼마나 증가하는지를 파악함으로써 에너지사용량에 미치는 기후특성요인의 중요성을 파악하기 위하여 모형을 구분하였다. 이러한 방법은 타 연구에서도 사용되고 있다.<sup>9)</sup> 둘째, 에너지 사용량 측면에서 기후특성의 상대적 중요도(표준계수)를 파악하기 위함이다. 기후특성 변수가 모형에 투입됨에 따라 기존의 도시특성 변수들로만 구성된 모형에서 변수들의 상대적 중요도에 상당한 차이가 발생할 것으로 판단되었다. 이러한 차이를 파악해보고자 모형1과 모형2로 구분하였다.

본 연구에서 구축한 에너지사용량에 대한 회귀모형의 조정된 결정계수를 살펴보면, 모형1의 경우 0.52, 모형2의 경우 0.49로 나타났다. 즉, 도시특성과 기후특성이 함께 모형에 포함되어 있는 경우가 설명력이 더 높은 것을 알 수 있다. 모형1과 모형2의 분석결과를 비표준계수를 통해 살펴보면 영향력의 방향이 모두 일치하는 것을 알 수 있다. 회귀분석 결과를 자세히 살펴보면, 가구원수가 증가함에 따라 1인당 에너지사용량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구들과 동일한 결과이며(Ewing and Rong, 2008; Steemer and Yun, 2009; Yun and Steemers, 2011), 이러한 분석결과는 1인 가구의 경우 규모가 큰 가구에 비해 점유면적당 소비하는 에너지가 많기 때문에 에너지 사용량을 증가시킨다는 주장과도 연결된다(Williams, 2007). 또한 1인당 지방세 납부액과 재정자립도가 높을수록 1인당 에너지 사용량은 증가하였는데, 이는 도시의 경제적 측면이 증가할수록 에너지사용량이 증가한다는 것을 의미한다. 도시공간 측면에서는 공업면적의 증가와 1인당 승용차등록대수의 증가가 에너지사용량을 증가시키는 요인으로 작용하고, 녹지면적의 증가는 에너지사용량을 감소시키는 요인으로 작용하였다. 인구밀도와 혼합토지이용이 높아질수록 에너지사용량은 감소하는 것으로 나타났는데 이는 도시의 압축 개발이 에너지 효율을 증진시킨다는 기존 연구결과와 일치한다. 모형1에 포함되어 있는 기후특성 변수인 냉난방도일의 증가는 에너지사용량을 증가시키는 요인으로 파악되었다. 따뜻한 지역 혹은 추운 지역 일수록 에너지를 더 많이 소비하는 것을 나타낸다.

〈표 3〉 일반회귀모형 실증분석 결과

구 분	모형 1			모형 2		
	비표준계수	표준계수	VIF	비표준계수	표준계수	VIF
(상수)	0.678			4.270***		
가구원수	-1.288**	-0.161	2.462	-1.383**	-0.173	2.455
1인당 지방세 납부액	0.001***	0.212	1.816	0.000***	0.197	1.805
재정자립도	0.018*	0.151	4.492	0.017**	0.144	4.489
인구밀도	-0.000**	-0.156	2.205	-0.000***	-0.203	2.100
녹지면적	-0.004**	-0.126	1.862	-0.004**	-0.139	1.855
공업면적	0.145***	0.585	1.711	0.135***	0.545	1.637
혼합토지이용	-0.058***	-0.144	1.341	-6.057***	-0.149	1.340
수도권여부	-0.845**	-0.188	3.643	-0.442	-0.098	3.276
1인당 승용차등록대수	3.829*	0.100	2.007	5.196**	0.136	1.949
냉난방도일	0.001***	0.169	1.306	-	-	-
Adjusted R <sup>2</sup>	0.52			0.49		
F-value	21.430***			21.928***		

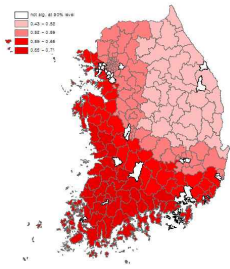
\* $P<0.1$ , \*\* $P<0.05$ , \*\*\* $P<0.01$ 

비표준계수를 통해 살펴봤을 때, 모형1과 모형2의 차이는 모형1의 경우 수도권여부 변수가 유의미한 변수로 작용한 반면에 모형2의 경우 통계적으로 유의미하지 않은 변수로 나타났다. 다음으로 변수들의 상대적 영향을 파악하기 위해서 표준계수를 통해 분석결과를 살펴보았다. 먼저 기후특성을 제외한 모형2의 경우 에너지사용량에 대한 상대적인 영향력은 공업면적이 가장 컸으며, 그 다음으로 인구밀도, 1인당 지방세 납부액, 가구원수, 혼합토지이용, 재정자립도, 녹지면적, 1인당 승용차등록대수 순으로 나타났다. 또한 기후특성을 포함한 모형1의 경우 에너지사용량에 대한 상대적인 영향력은 모형2와 마찬가지로 공업면적이 가장 컸고, 그 다음으로 1인당 지방세 납부액, 수도권여부, 냉난방도일, 가구원수, 인구밀도, 재정자립도, 혼합토지이용, 녹지면적, 1인당 승용차등록대수 순으로 나타났다. 모형2의 경우 인구밀도 및 혼합토지이용 변수가 2번째, 5번째로 높은 영향력을 나타내고 있어 기존 선행연구에서 주장한 것과 같이 에너지사용량에 있어 도시의 압축개발이 중요한 요인인 것을 확인하였다. 하지만 모형1에서 나타나듯이 기후특성 변수인 냉난방도일이 4번째로 영향이 높게 나타나 기존 선행연구에서 중요하게 다룬 압축개발 특성보다 높은 영향력을 가지고 있는 것으로 파악되었다. 즉, 에너지사용량에 대한 모형에서 기후특성을 고려하였을 경우 압축개발의 중요성이 떨어진다는 것을 파악할 수 있다.

## 4.2. 일반회귀모형과 지리가중회귀모형 분석결과 비교

에너지사용량에 미치는 도시특성 및 기후특성을 파악하기 위한 두 번째 작업으로 공간적 특수성을 고려한 지리가중회귀모형을 실시하였다. <표 4>는 일반회귀모형과 지리가중회귀모형을 비교한 것이다.

<표 4> 일반회귀모형과 지리가중회귀모형의 분석결과 비교

구 분	일반회귀모형 OLS	지리가중회귀모형 GWR			
		평균	최대	최소	표준편차
(상수)	0.678	1.159	2.035	-0.771	0.607
가구원수	-1.288**	-1.607	-1.226	-1.804	0.116
1인당 지방세 납부액	0.001***	0.001	0.002	0.000	0.000
재정자립도	0.018*	0.022	0.036	0.005	0.007
인구밀도	-0.000**	-0.000	0.000	-0.000	0.000
녹지면적	-0.004**	-0.004	-0.002	-0.005	0.001
공업면적	0.145***	0.151	0.190	0.116	0.028
혼합토지이용	-0.058***	-6.603	-4.964	-9.362	1.153
수도권여부	-0.845**	-1.079	-0.655	-1.596	0.331
1인당 승용차등록대수	3.829*	2.480	6.171	0.103	2.183
냉난방도일	0.001***	0.001	0.002	0.001	0.000
Adjusted R <sup>2</sup>	0.52	0.55			
AIC	689.20	679.69			
Moran's I	0.15***	-0.001			
Neighbors		193			
Bandwidth methods		AICc			
Kerner type		Adaptive	지역별 R <sup>2</sup> 값		

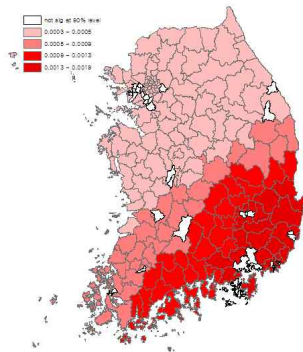
\*  $P<0.1$ , \*\*  $P<0.05$ , \*\*\*  $P<0.01$

조정된 결정계수값을 확인해보면 지리가중회귀모형의 경우 0.55로 일반회귀모형의 0.52보다 높은 것으로 나타났다. 또한 지역별 결정계수 값을 살펴보면 범위가 0.43에서 0.71사이로 나타났다. 종합해보면 평균적으로 지리가중회귀모형이 일반회귀모형에 비해 약 3% 더

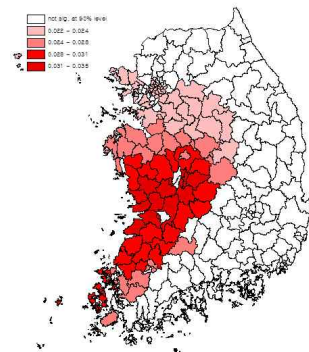
높은 설명력을 가지고 있고, 지역별로 각기 다른 값을 가지며, 더 높은 설명력을 갖은 지역들이 존재한다고 파악할 수 있다. 또한 각 모형의 AIC값을 비교해보면, 지리가중회귀모형의 AIC가 679.69로 일반회귀모형보다 낮은 AIC값을 가지고 있다. 즉, 지리가중회귀모형이 더 나은 모형이라고 할 수 있다. 마지막으로 잔차의 자기상관을 확인하기 위해 Moran's I값을 확인해보면 일반회귀모형은 0.15의 값을 가지고 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 이는 일반회귀모형을 사용할 경우 공간적 특수성을 고려하지 못한다는 것을 의미한다. 이에 반하여, 지리가중회귀모형의 경우 Moran's I값이 통계적으로 유의미하지 않게 나타났다. 유성필 외(2015)에 따르면, 이는 지리가중회귀모형이 에너지사용량의 지역 간 차이에 영향을 미치는 요인을 추출하여 잔차의 공간적 자기상관성이 개선된 것으로 판단할 수 있다.

#### 4.3. 에너지사용량에 대한 지리가중회귀모형 분석결과와 해석

지리가중회귀모형을 통해 지역별로 각각의 설명변수들이 1인당 에너지사용량에 미치는 영향을 파악하였다. 먼저 지역의 경제적 특성이 에너지사용량에 어떠한 영향을 미치는지 지리가중회귀모형을 통해 살펴보면, <그림 1>과 <그림 2>와 같다. 1인당 지방세 납부액 및 재정자립도는 일반회귀모형 분석결과와 마찬가지로 지역의 에너지사용량을 증가시키는 것으로 파악되었다. 구체적으로 1인당 지방세 납부액은 경남지역으로 갈수록 에너지사용량에 미치는 영향력이 증가하였다. 2010년 1인당 GRDP 순위를 살펴보면 울산은 시작으로 전남, 부산, 광주 등 남부지역, 특히 부산과 울산 등 경남지역의 GRDP가 높게 나타났는데 이러한 경제적 특성 때문에 1인당 지방세 납부액의 영향력이 경남지역으로 갈수록 커지는 것으로 판단된다. 유성필 외(2015)는 본 연구에서 사용한 에너지사용량과 밀접한 관계가 있는 이산화탄소 배출과 1인당 지방세 납부액의 관계를 지리가중회귀모형을 통해 파악하였다. 이 연구의 분석결과 이산화탄소배출은 경남지역으로 갈수록 1인당 지방세 납부액의 영향력이 커지는 것으로 나타나 본 연구와 비슷한 결과를 제시하였다. 재정자립도 측면에서 김리영 외(2011)는 재정자립도의 에너지사용량에 대한 영향력을 수도권과 비수도권으로 구분하여 분석을 진행하였는데, 수도권에서 재정자립도는 에너지사용량에 유의미한 변수로 작용하였지만, 비수도권에서는 유의미하지 않는 변수로 작용하였다. 본 연구에서 또한 재정자립도는 재정자립도 순위가 높은 수도권 및 충청·경북지역에서 통계적으로 유의미하였지만, 그 외의 지역에서는 유의미하지 않았다.

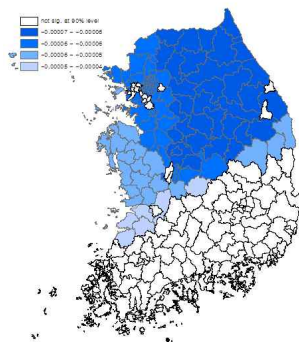


〈그림 1〉 지역별 1인당 지방세 납부액 회귀계수 값

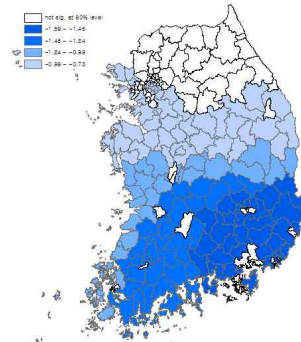


〈그림 2〉 지역별 재정자립도 회귀계수 값

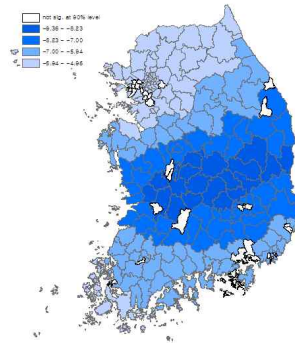
선행연구들을 살펴보면, 에너지 사용량을 저감시키는 대책으로 도시의 압축 개발을 강조하고 있다. 본 연구에서의 압축 개발 특성 변수인 인구밀도와 혼합토지이용, 수도권여부를 지리가중회귀모형으로 분석결과 또한 압축 개발이 에너지 효율을 증가시키는 요인으로 파악되었다. 지역별로 살펴봤을 때, 혼합토지이용의 경우 전국적으로 비슷한 영향력을 가지고 있어, 어느 지역에서나 에너지사용량에 영향을 미치는 중요한 요인으로 파악되었다. 하지만 인구밀도와 수도권여부 변수의 경우 지역별로 영향력의 차이가 존재하였다. 인구밀도의 경우 수도권을 포함한 충청·강원지역에서는 유의미한 변수로 작용하였지만, 그 외의 지역에서는 유의미하지 않는 변수로 작용하였다. 이러한 결과는 김리영 외(2011)에서 분석된 결과와 비슷하였는데, 연구에서는 수도권에서는 인구밀도가 통계적으로 유의하였지만 비수도권에서는 유의하지 않게 분석되었다. 또한 수도권 여부에 따른 에너지사용량은 수도권과 멀어질수록 그 영향력이 증가하였다. 즉, 이러한 결과는 수도권과 가까워질수록 에너지사용량이 감소한다는 것을 나타낸다.



〈그림 3〉 지역별 인구밀도 회귀계수 값

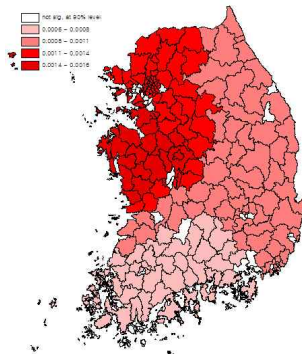


〈그림 4〉 지역별 수도권여부 회귀계수 값

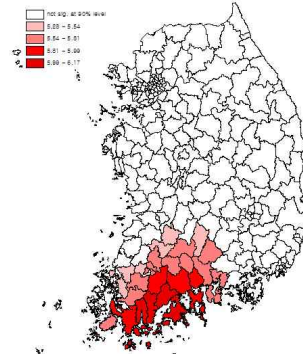


〈그림 5〉 지역별 혼합토지이용 회귀계수 값

기후변화 특성 변수로 사용한 냉난방도일을 살펴보면, 일반회귀모형의 결과와 마찬가지로 냉난방도일이 증가할수록 에너지사용량이 증가하였다. 결과를 지역별로 살펴보면, 전국적으로 영향력이 유의미하지만 북부지역으로 갈수록, 그리고 수도권으로 갈수록 영향력 크기가 증가하였다. 이러한 결과는 남부지역의 경우 상대적으로 다른 지역보다 따뜻하여 겨울철에도 난방에너지를 상대적으로 적게 사용한다는(임상수, 2009; 이경미 외, 2014) 연구결과와 유사하다. 즉, 우리나라의 경우 냉방도일보다 난방도일에 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다. 또한 수도권 지역의 경우 다른 지역보다 기후특성에 민감하게 반응하는 것으로 판단된다.



〈그림 6〉 지역별 난방도일 회귀계수 값

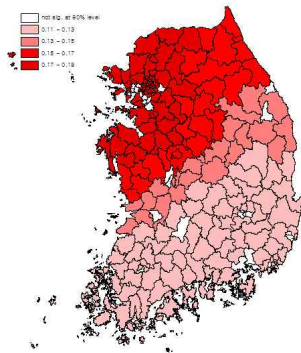


〈그림 7〉 지역별 1인당 승용차등록대수 회귀계수 값

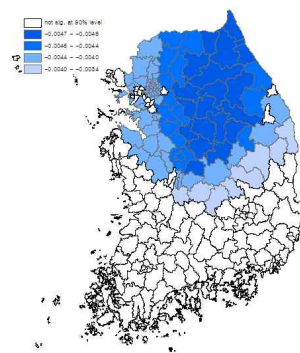
1인당 승용차등록대수의 경우 냉난방도일의 영향력이 상대적으로 적은 남부지역에서만 에너지사용량을 증가시키는 요인으로 유의미하게 작용하였다. 일반적으로 냉난방도일의 경우 에너지사용량 중 가구에너지에 많은 영향을 미치고, 1인당 승용차대수의 경우 교통에너지

지에 많은 영향을 미치게 되는데, 남부지역의 경우 상대적으로 따뜻한 날씨로 인해 가구에너지 사용량보다 교통에너지 사용량의 비중이 커서 이러한 결과를 초래하였다고 판단된다.

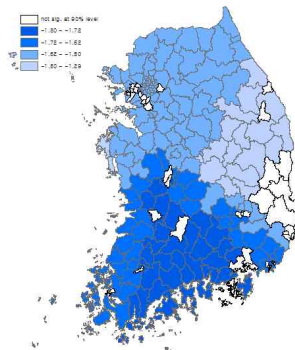
토지이용 면적에 대한 측면에서 지리가중회귀모형 분석결과 평균적으로 공업면적의 증가는 에너지사용량을 증가시키고, 녹지면적의 증가는 에너지사용량을 감소시키는 요인으로 나타났다. 지역별로 살펴보면, 공업면적의 경우 전국적으로 유의미한 변수로 파악되었지만 수도권과 충청지역의 경우 그 영향력이 크게 나타났다. 2010년 통계청에서 제공한 공업면적 비율을 살펴보면 전국 상위 10개의 지역 중 수도권과 충청지역은 총 5개<sup>10)</sup>이다. 즉, 상대적으로 공업면적 비율이 높은 지역이 몰려있는 수도권과 충청지역에서 에너지사용량에 대한 공업면적의 영향이 다른 지역에 비해 크게 나타났다. 이와 비슷한 원리로 녹지면적의 경우 또한 녹지비율이 높은 강원지역에서는 에너지사용량에 유의미한 변수로 작용하였고, 남부지역의 경우 통계적으로 유의미하지 않았다. 이 밖에도 가구원수는 에너지사용량을 감소시키는 요인으로 나타났는데 그 영향력은 전국적으로 유의미하였으며, 남부지역으로 갈수록 커지는 것으로 파악되었다.



〈그림 8〉 지역별 공업면적 회귀계수 값



〈그림 9〉 지역별 녹지면적 회귀계수 값

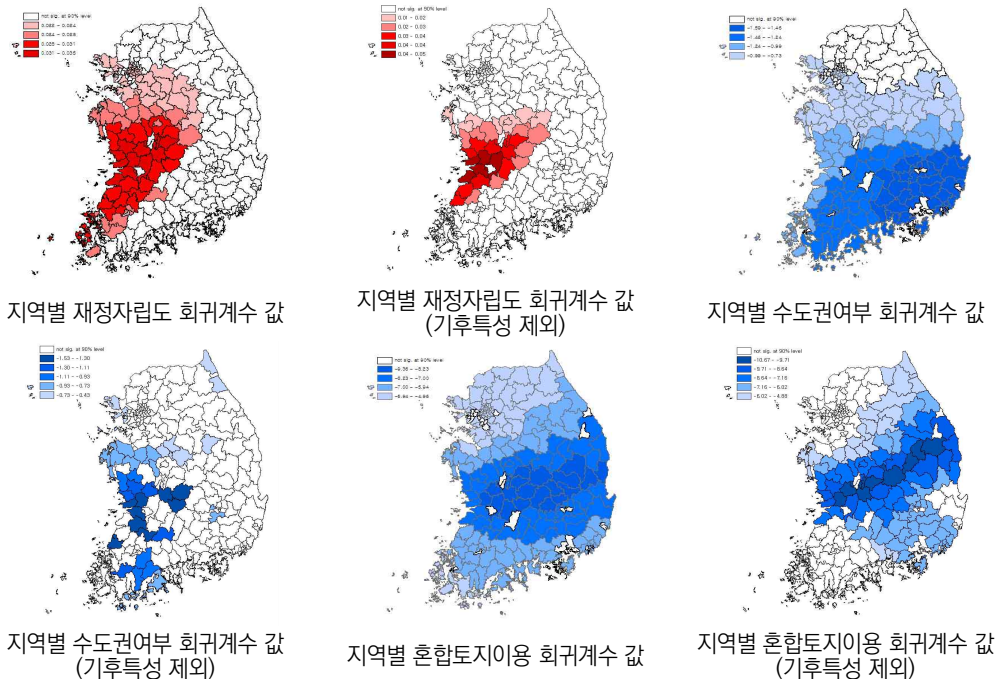


〈그림 10〉 지역별 가구원수 회귀계수 값

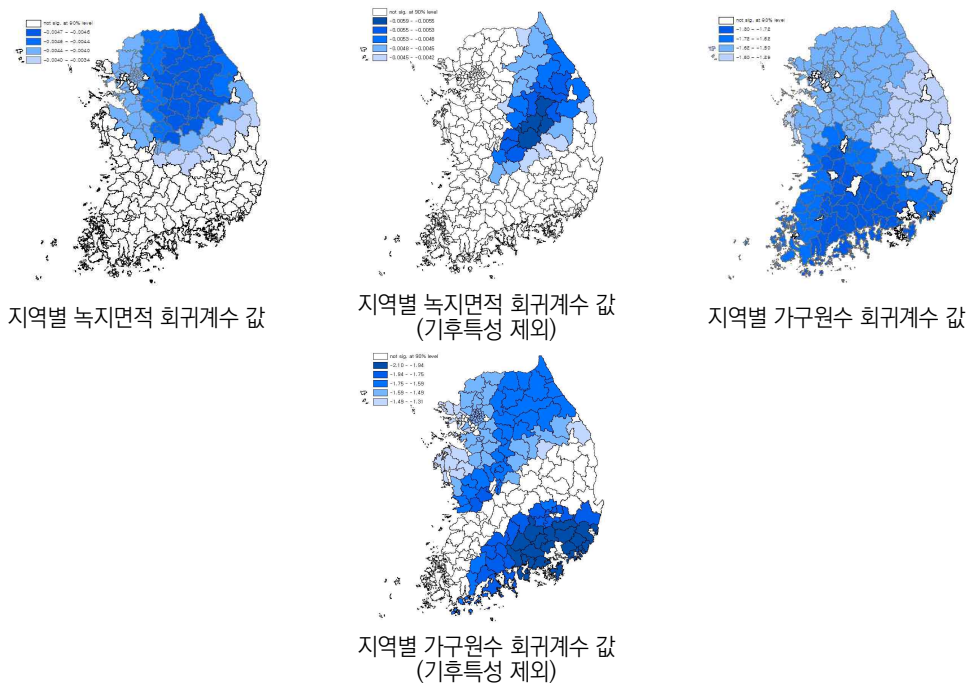


지금까지 지리가중회귀모형을 이용하여 도시특성과 기후특성이 에너지사용량에 어떠한 영향을 미치는지 지역별로 살펴보았다. 그 다음으로 에너지사용량에 대한 기후특성의 중요성을 파악하기 위하여 일반회귀모형 분석에서처럼 기후특성을 제외한 에너지사용량 모형을 구축하고 지리가중회귀모형을 통해 분석결과를 비교하였다. 분석결과 1인당 지방세 납부액, 인구밀도, 1인당 승용차등록대수, 공업면적의 경우 기후특성이 제외된 모형에서도 기존 분석과 비슷한 결과가 도출되었다. 하지만 재정자립도, 수도권 여부, 혼합토지이용, 녹지면적, 가구원수는 기후특성이 제외된 경우 기후특성을 포함한 모형과 지역별 영향력 분포에서 차이가 발생하였다. 영향력 차이가 존재하는 변수에 대한 결과 비교는 <그림 11>와 같다.

분석결과를 살펴봤을 때, 모형 간의 결과값 차이가 있는 변수들은 전반적으로 기후특성을 제외하였을 경우 통계적으로 유의하지 않은 지역이 증가하였다. 이러한 결과는 앞서 언급한대로 지역 에너지사용량 모형에 기후특성 변수가 중요한 변수로 작용하고, 필요한 변수라는 것을 의미한다. 예를 들어, 압축개발 요소인 혼합토지이용 변수는 일반회귀모형의 결과와 같이 기후특성 변수를 제외한 경우의 전반적인 영향력이 기후특성을 포함한 경우보다 큰 것으로 나타났다. 하지만 영향력 범위를 고려하였을 때, 기후특성을 제외한 모형은 통계적으로 유의미하지 않은 지역이 많이 발생하여 혼합토지이용이 에너지사용량에 미치는 영향을 전국적으로 해석하기에는 무리가 발생한다는 것이다.







〈그림 12〉 기후특성 변수 유무에 따른 지역별 회귀계수 값 차이

## 5. 결론 및 시사점

본 연구는 지역 에너지소비에 영향을 미치는 도시특성 및 기후특성을 파악하여 에너지 소비절감을 위한 정책적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 하였다.

분석을 위해 사용된 방법은 일반회귀모형과 지리가중회귀모형이다. 지리가중회귀모형의 경우 일반회귀모형보다 공간적 특수성을 더욱 잘 설명해주고, 지역별 영향력 차이를 볼 수 있다는 점에서 장점을 가지고 있다. 먼저 일반회귀모형의 분석결과를 살펴보면, 지역의 경제력은 1인당 에너지사용량을 증가시키고, 도시의 압축 개발은 1인당 에너지사용량을 감소시키는 요인으로 작용하였다. 기후특성 변수인 냉난방도일의 증가는 1인당 에너지사용량을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 이 밖에도 모형을 도시특성에 기후특성이 포함된 모형과 기후특성이 포함되지 않은 모형으로 구분하여 일반회귀분석을 실시하였다. 그 결과 도시특성만 포함되어 있는 에너지사용 모형에서는 압축개발 요인이 중요한 변수로 작용하는 것으로 나타났다. 하지만 기후특성이 포함됨에 따라 기후특성 변수인 냉난방도일은 압축개발 요인들보다 상대적으로 높은 영향력을 가지고 있는 것으로 파악되었다. 그리고 압축개발이 에

너지소비에 미치는 영향의 크기는 현저히 떨어지는 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 압축개발이 기존의 연구처럼 에너지소비에 크게 중요하지 않을 수도 있음을 시사한다.

다음으로 지리가중회귀모형을 통한 분석결과를 통해 지역별로 영향력의 차이가 존재하는 것을 파악할 수 있었다. 변수에 따라 영향력의 차이 뿐만 아니라 통계적 유의성에서도 차이가 존재하였는데, 재정자립도의 경우 수도권 및 충청·경북지역에서는 통계적으로 유의미하였지만, 그 외의 지역에서는 유의미하지 않았고, 인구밀도와 녹지면적의 경우 수도권을 포함한 충청·강원지역에서만 유의미한 변수로 작용하였다. 또한 냉난방도일의 경우 북부지역으로 갈수록 영향력이 커지는 것으로 나타나 우리나라의 경우 난방도일의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 1인당 승용차등록대수는 남부지역에서만 유의미한 것으로 도출되었다.

지역 에너지사용량에 영향을 미치는 요인은 압축개발 등 도시특성 뿐만 아니라 기후특성이 중요한 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 냉난방도일의 증가가 압축도시특성보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 파악된 것이다.

지역별 분석결과를 통해 살펴봤을 때 우리나라의 경우 냉방도일보다 난방도일의 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 따라서 단기적으로 우리나라는 에너지소비량을 감축시키기 위한 겨울철에 대한 대책마련이 보다 시급한 것으로 판단된다. 하지만 IPCC(2014)에 따르면, 점차 냉방도일은 증가하고, 난방도일은 감소할 것으로 전망하기 때문에 향후에는 여름철 냉방에 대한 대책 마련이 더 중요해 질 것으로 판단되고, 이러한 변화에 대해 예측할 수 있는 연구들이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

또한 도시특성과 기후특성이 에너지사용량에 지역별로 서로 다른 영향을 미친다는 사실을 파악하였다. 분석결과를 통해 알 수 있는 사실은 에너지소비감축 정책을 시행할 경우 전국적으로 일률적인 정책이 아닌 지역특성에 맞는 정책을 시행하는 것이 바람직하다는 것이다. 이러한 근거로 들 수 있는 것이 지역의 에너지 자급률이다. 지역별 에너지 자급률이 중요한 이유는 에너지가 생산하는 곳에서 소비해야 전송 손실을 최소화할 수 있다는 데 있다. 따라서 지역별로 어떠한 종류의 에너지소비가 많이 이루어지는지 파악하고, 지역별 에너지 소비의 원인을 파악한 후에 지역에 적합한 에너지소비감축 정책 및 에너지공급확대 정책을 수립하여야만 지역의 에너지 자급률을 높일 수 있다. 에너지소비감축 정책의 예로 본 연구에서 가장 중점적으로 살펴본 기후특성의 경우, 국가 전반적으로 가구에너지에 대한 영향을 많이 받기 때문에 가구에너지를 줄이기 위한 정책방안들을 모색하는 노력이 필요하다. 하지만 남부지역, 특히 호남지역의 경우 상대적으로 따뜻한 기온으로 난방에너지로 인한 가구에너지의 사용보다 교통에너지에 대한 영향을 많이 받기 때문에 교통에 관련된 에너지 감축 노력을 시행하는 것이 보다 바람직할 것이다.

본 연구의 한계점은 첫째, 낙뢰와 같은 기상재해로 인해 기상청에서 제공하는 관측소에 누락된 온도가 존재함으로써 모든 관측소에 대한 냉방도일과 난방도일을 구축하지 못하였다. 이에 230개의 시·군·구 중 37개의 지역이 누락됨에 따라 193개의 시·군·구만은 대상으로 분석을 진행하였다. 향후 연구에서 모든 지역의 냉방도일과 난방도일을 계산하여 분석이 진행된다면, 보다 정확한 분석결과가 도출될 것으로 기대한다.

둘째, 본 연구에서는 지리가중회귀분석을 통해 진행한 에너지사용량에 미치는 도시특성과 기후특성을 모두 포함한 모형, 그리고 기후특성을 제외한 모형을 비교하였다. 하지만 일부 변수의 경우 분석결과에 대한 원인을 충분히 설명하지 못하였고, 단순히 지역 간 차이에 대한 검증결과만을 제시하였다. 향후 본 연구의 분석결과를 뒷받침할 수 있는 후속연구가 진행될 필요가 있다.

셋째, 지역 에너지사용량은 본 분석에서 사용된 전력과 석유 이외에도 석탄, 도시가스, 열에너지, 기타 등이 있다. 하지만 나머지 에너지에 대한 지자체별 자료는 시군구의 경우 구득이 불가능하여 부득이 분석에서 제외하였다. 향후 모든 에너지사용량 자료가 시군구까지 구축된다면 보다 정확한 분석이 진행될 것이라 기대된다.

## 주

- 1) 피크오일 문제: 석유 생산이 최고점에 이르는 시점을 지나 급격하게 감소하는 것을 말한다. 이는 신규유전 개발의 부진과 생산시설에 대한 투자 감소, 전쟁, 그리고 석유 매장량 감소 등의 요인들로부터 기인한다.
- 2) 국토교통부 「지속가능한 신도시 계획기준」에 따르면 압축형 개발이라 함은 개발밀도의 고밀화, 복합적인 토지이용 및 대중교통체계 등, 효율적인 토지이용을 제고하고, 도시의 자족기능을 향상시키는 지속가능한 도시개발 방안을 말한다.
- 3) 서울 종로, 서울 강서, 부산 중구, 부산 서구, 부산 동구, 부산 연제구, 부산 수영구, 부산 사상구, 대구 중구, 대구 남구, 대구 수성구, 대구 달서구, 인천 동구, 인천 남구, 인천 남동구, 인천 부평구, 인천 계양구, 광주 남구, 대전 서구, 대전 유성구, 울산 중구, 울산 남구, 경기 수원, 경기 안양, 경기 부천, 경기 광명, 경기 군포, 경기 의왕, 경기 하남, 강원 동해, 강원 태백, 전북 전주, 전북 장수, 전남 목포, 경남 창원, 경남 통영
- 4) 석유환산톤계수: 석유환산톤으로 환산하기 위한 각 에너지원별 환산계수. LPG 1.500, 경유 0.901, 경질중유 0.929, 기타제품 0.696, 납사 0.771, 등유 0.879, 벙커C유 0.995, 부생연료유 0.880, 아스팔트 0.991, 용제 0.795, 윤활유 0.950, 중유 0.967, 항공유 0.873, 휘발유 0.778, 전력 0.215
- 5) TOE: 모든 에너지원의 발열량을 기초로 해서 이를 석유 발열량으로 환산한 것으로 석유환산톤이라 정의한다.
- 6) 유성필 외(2015)에서는 산업부분에서 배출되는 CO<sub>2</sub>를 통제하기 위한 변수로 지역별 산업비율을 사용하였다.
- 7) 냉방도일 =  $\sum$ [일평균기온 - 기준온도], 즉, 냉방도일이 높은 지역은 상대적으로 더운 지역

- 8) 난방도일 =  $\sum [18^{\circ}\text{C} - \text{일평균기온}]$ , 즉, 난방도일이 높은 지역은 상대적으로 추운 지역  
 9) 이와 유사한 연구방법으로 하성규 외(2001)는 지역격차와 차별로 인한 주거복지수준의 차이와 그 피해결과 여부를 분석하기 위해, 변수를 추가함으로써 가장 높은 결정계수값을 갖는 모형을 찾는 작업을 실시하였다.  
 10) 1위: 충남 당진군, 2위: 서울 영등포구, 6위: 서울 금천구, 7위: 서울 구로구, 10위: 대구 서구

## 참 고 문 헌

- 강창덕. (2010). GWR 접근법을 활용한 부동산 감정평가 모형 연구: 서울시 아파트를 사례로. 「부동산연구」, 제20권 제2호, pp.107-132.
- 강창덕. (2011). 공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제: 전력과 도시가스 소비를 중심으로. 「서울도시연구」, 제12권 제4호, pp.1-22.
- 구형수·이희연. (2009). 시스템다이나믹스를 활용한 도시공간구조에 따른 에너지 소비모형 구축에 관한 연구. 「국토연구」, 제61권, pp.211-233.
- 국토교통부. (2010). 「지속가능한 신도시 계획기준」.
- 기상청. (2014). 「한국기후변화평가보고서 2014-기후변화 과학적근거- 정책결정자를 위한 요약서」.
- 김리영·서원석. (2011). 압축도시 특성이 지역별 교통에너지 소비에 미치는 영향: 수도권, 비수도권간의 차이를 중심으로. 「한국지역개발학회지」, 제23권 제1호, pp.33-53.
- 김보현·장성만·이승일. (2013). 도시 유형별 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인 연구: 통행패턴과 개발밀도에 따른 도시유형 구분을 기초로. 「국토계획」, 제48권 제3호, pp.129-148.
- 김혜영. (2012). 공간구분론 및 지리적 가중회귀 기법을 이용한 도시공간구조 분석. 서울시립대학교 석사학위 논문.
- 노승철·이희연. (2013). 가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분석. 「국토계획」, 제48권 제2호, pp.295-312.
- 안건혁. (2000). 도시형태와 에너지활용과의 관계연구. 「국토계획」, 제35권 제2호, pp.9-17.
- 원두환. (2012). 고령화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력수요를 중심으로. 「자원·환경 경제연구」, 제21권 제2호, pp.341-369.
- 유성필·황지옥. (2015). 지역별 도시특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향. 「국토계획」, 제50권 제2호, pp.197-210.
- 이갑정·윤갑식. (2013). 도시공간구조와 교통에너지 소비의 상관성 분석. 「도시행정학보」, 제26권 제3호, pp.121-142.
- 이경미·백희정·조천호. (2014). 한국의 미래 냉방도일과 난방도일 변화 전망. 「기후연구」, 제9권 제1호, pp.1-13.
- 임상수. (2009). 주요 도시별 전기 소비 특성에 관한 연구. 「서울도시연구」, 제10권 제2호, pp.87-100.
- 임현진·정수관·원두환. (2013). 지구온난화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력수요를 중심으로. 「에너지경제연구」, 제12권 제2호, pp.33-58.
- 정재원·이창효·이승일. (2015). 서울시 행정동별 가구의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인의 통합적 분석. 「국토계획」, 제50권 제8호, pp.75-94.
- 조운애·김경환. (2008). 도시개발밀도가 에너지 효율성에 미치는 영향. 「한국정책학회보」, 제17권 제4호, pp.113-134.
- 하성규·이성우. (2001). 서울 거주자의 출신지역별 자가점유 특성 비교 분석을 통해 살펴본 지역격차와 지역차별. 「한국지역개발학회지」, 제13권 제2호, pp.33-56.
- Akaike, H. (1974). A New Look at The Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. vol.19. no.6. pp.716-723.
- Ewing, R. & Rong, F. (2008). The Impact of Urban Form on U.S. Residential Energy Use. *Housing Policy*

- Debate*. vol.19. no.1. pp.1-30.
- Fotheringham, A.S., C. Brunsdon & M. Charlton. (2002). *Geographically Weighted Regression : The Analysis of Spatially Varying Relationships*. John Wiley and Sons Ltd, England.
- Fullerton, T. M., D. A. Juarez & A.G. Walke. (2012). Residential Electricity Consumption in Seattle. *Energy Economics*. vol.34. pp.1693-1699.
- IPCC. (2014). *Fifth Assessment report: climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
- Newman & Kenworthy. (1989). Gasoline Consumption and Cities—a Comparison of US Cities with a Global Survey. *Journal of The American Planning Association*. vol.55. no.1. pp.24-37.
- Rickaby P., Steadman, J. & Barret, M. (1992). *Patterns of Land Use in English Town: Implications for Energy Use and Carbon Dioxide Emissions. Sustainable Development and Urban Form*. London: Pion Ltd.
- Steemer, K. & Yun, G. Y. (2009). Household Energy Consumption: A Study of the Role of Occupants. *Building Research & Information*. vol.37. no.5. pp.625-637.
- Williams, J. (2007). Innovative Solutions for Averting a Potential Resource Crisis The Case of One Person Households in England and Wales. *Environment, Development and Sustainability*. vol.9. no.3. pp.325-354.
- Yun, G. Y. & Steemers, K. (2011). Behavioural, Physical and Socio-Economic Factors in Household Cooling Energy Consumption. *Applied Energy*. vol.88. pp.2191-2200.

(논문접수일: 2016. 09.05 / 논문수정일(1차: 2016.11.08., 2차: 2016.12.15) / 게재확정일: 2017.01.02)

---

※ **이동성(李東聖)**은 중앙대학교 도시및지역개발학과를 졸업하고 현재 중앙대학교 도시계획부동산학과 대학원 박사과정생으로 재학중이다. 관심분야는 환경정책, 도시계획, 에너지정책 등이며 에너지 및 신재생에너지 분야에 특별한 관심을 가지고 있다. 주요저술로는 “시스템다이내믹스를 이용한 신재생에너지정책 비교에 관한 연구” 등이 있다(baby8803@gmail.com).

※ **문태훈(文泰勳)**은 미국 State University of New York at Albany에서 1992년 행정및정책학 박사학위를 취득하였으며, 현재 중앙대학교 도시계획부동산학과 교수로 재직하고 있다. 주된 관심분야는 환경정책, 시스템다이내믹스, 도시정책 등이며 주요저술로는 「환경정책론」, 「시스템사고로 본 지속가능한 도시」, “Green Growth Policy in the Republic of Korea: Its Promise and Pitfalls”, “성장의 한계 논의의 전개와 지속가능발전의 함의” 등이 있다(sapphire@cau.ac.kr, <http://cau.ac.kr/~thmoon>).