

토지이용 및 제조업 특성에 따른 에너지 사용량과의 상관성 분석 - 부산광역시권 사례를 중심으로

이윤주* · 최 열**
Lee, Yun Ju*, Choi, Yeol**

Correlates between Urban Land Use and Manufacturing Industries Characteristics and Energy Consumption - A Case of Busan Metropolitan Area

ABSTRACT

Global warming and a new energy policy request the energy saving and pollutant emission control in municipal level. Previous studies focus on transportation in the Seoul metropolitan area which can easily meet the policy goal by reducing it. This study expands the area of urban energy planning to the industries and land use which takes up most of energy use of the city. We empirically study the Busan metropolitan area's 5 years natural gas and electricity consumption data by the industries and land use. Results show that energy usage significantly depends on not only population but also urbanizing intensity and industrial category. This paper address that the policy maker need to pay attention on energy usage pattern of each sectors during the planning.

Key words : Urban characteristics, Industry, Land use, Energy consumption, Panel analysis

초록

기후변화와 새로운 에너지정책의 변화등 대내외적인 환경정책의 변화로 도시특성과 에너지 사용량에 대한 파악이 필요하다. 기존에도 도시공간 구조를 활용한 연구는 누적되어왔지만 대부분 거시적으로 국가별, 수도권 위주, 대도시를 대상으로 했으며 경제성장이나 탄소배출과 에너지 사용량의 관계에 주목하였다. 본 연구는 이와는 달리 세부적으로 도시특성을 반영한 데이터를 바탕으로 기존의 교통에너지를 제외하고 가정과 산업 에너지 환경의 기반인 전기와 가스에너지 사용량과의 상관관계를 파악하고자 한다. 본 연구는 도시 토지이용과 제조업특성을 고려하여 도시 특성과 전기와 가스 에너지 사용량과의 연관성을 실증적으로 분석하였다. 통계적으로 유의미한 변수 중에서도 세대수와 면적의 도시 규모 특성과 지방세 징수액, 자동차 등록대수와 같은 경제적 특성, 도로와 시가화밀도등의 도시화 특성은 에너지사용량을 증가시키는 상관요인들로 도출되었다. 본 연구는 수도권 중심의 에너지 소비 분석에서 벗어나 부산광역시권 지역사회 에너지 정책의 이론적 근거를 마련하는 데 도움이 되고자 하였다.

검색어 : 도시특성, 산업, 토지이용, 에너지사용량, 패널분석

* 부산대학교 도시공학과 박사수료 (Pusan National University · yjlee@pusan.ac.kr)

** 중신회원 · 교신저자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (Corresponding Author · Pusan National University · yeolchoi@pusan.ac.kr)

Received March 5, 2019/ revised April 4, 2019/ accepted September 2, 2019

1. 서론

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차보고서에서 경제 부문에 따른 온실가스 배출량을 보면 국제적으로 전력과 난방으로 인한 에너지 배출량이 많은 부문을 차지하고 있다(IPOC, 2014). 또한 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS)의 2015년 우리나라 에너지 소비현황에 따르면, 소비부문별 비중이 각각 산업부문 62.5%, 수송부문 18.4%, 가정상업부문 16.7%, 공공부문 2.4%를 차지하고 있다. 하지만 도시계획분야의 도시 에너지 소비에 대한 기존 연구들은 수송 즉 교통에너지원 소비량에 초점을 두었다. 이제는 수송부문 이외에도 큰 비중을 차지하는 산업과 가정상업의 에너지소비대책도 고려해야 한다는 것을 알 수 있다. 한편, 에너지 월 별 소비현황에서는 전력 19%, 도시가스 9.9%로 석유를 이어 많은 비중을 차지하고 있다. 우리나라의 에너지 수입의존도는 2015년 94.8%에 이르며 국내 생산은 5.2%에 불과한 실정이다(KEEI, 2016). 가구나 기업의 개별적 에너지 저감 정책 뿐만 아니라 지속가능한 발전을 위한 기후변화대책과 지역적 에너지 정책은 함께 추진되어야 한다. 특히 도시계획을 통해 배출량을 감축시키고 이행시키는 데 민간과 지자체 정부의 중요성은 증대되고 있는 것이다. 이처럼 기후변화와 새로운 에너지정책의 변화 등 대내외적인 환경정책의 변화로 도시특성과 에너지 사용량에 대한 연구를 필요로 하는 것이다.

기존에도 도시공간구조를 활용한 연구는 누적되어왔지만 대부분 국제 국가별 비교연구이거나 수도권 위주, 대도시를 대상으로 했으며 경제성장과 에너지 사용량의 관계에 주목하여왔다. 또 탄소배출과 관련한 도시 교통에너지 사용량과의 상관관계를 다룬 연구들이 많았다. 본 연구는 이와는 달리 세부적으로 지역특성을 반영한 패널 데이터(Panel Data)와 가정과 산업 에너지 환경의 기반인 전기, 가스 에너지 사용량과의 상관관계를 파악하고자 한다. 도시의 특성, 특히 부산광역시 도시권의 토지이용과 제조업 특성을 중심으로 에너지사용량과의 상관성을 분석하여 유의미한 요소를 파악하는 데 그 목적을 두었다. 정량화된 도시 특성요소를 활용하여 시간과 공간의 영향을 동시에 고려할 수 있는 패널 데이터 분석을 이용하여 비교분석하였다.

2. 선행연구

도시특성과 에너지 소비의 상관관계에 대한 연구는 주로 도시의 인구와 공간구조, 외연적 규모, 압축적 도시개발과 교통에너지 소비 분야에서 활발하게 이루어지고 있다.

국외연구를 살펴보면 인구밀도, 복합적 토지이용 등의 도시 밀도가 높은 공간구조와 도시의 교통에너지, 통행량과의 관계를 주로 다루었다. 이는 최근 대기오염물질 배출량과의 연관성 연구로

확대되었다. Newman and Kenworthy(1989)의 연구는 고밀 개발된 도시가 에너지효율이 높으며 특히 도심 주거지의 고밀개발은 도시 공간 구조의 효율성을 높인다고 보았다. Elkin et al.(1991)의 연구에서는 도시 공간형태와 에너지 사용량 관계에서 압축도시가 에너지이용이 적고 대중교통 발달과 접근성 향상, 삶의 질 향상에 긍정적인 영향을 미쳤다. 그 밖에도 토지이용, 밀도 등 공간구조의 변화는 인간 활동, 특히 교통량 영향을 준다는 연구가 있었다(Wegener, 1996; Holden and Norland, 2005). 이후 에너지 소비에서 대기질과 관련 연구로 확대되었다(Stone Jr et al., 2007).

이와 대조적으로 압축적 도시 개발이 에너지소비와 무관하거나 효과적이지 않다는 연구도 있다. Gordon et al.(1991)은 인구밀도와 교통에너지 소비는 무관하며 오히려 주민생활 양식과 연료가격이 휘발유 소비량 영향을 준다고 보았다. Breheny(1995)는 고밀 압축형 도시구조 에너지 절감은 정책적이고 이론적인 것에 불과하며 도시 밀도 높이는 것은 에너지절감효과 매우 미미하다고 비판하였다. Owen(1991)은 오히려 인구밀도 증가는 높아진 대기 오염 농도를 초래한다고 보았다. Chiu(2002)도 과도한 집중으로 환경문제, 범죄율, 녹지면적 감소 문제점을 지적하였다. 도시 공간구조 외에도 사회경제적 요인을 중요시하고 있다. Banister et al.(1997) 연구에서는 영국 5개 도시, 네덜란드 1개 도시를 대상으로 도시규모, 밀도, 혼합토지이용, 공공용지율 등 도시공간구조 요소가 에너지소비에 영향을 미친다고 하였다. 특히 공공용지 비율이 높을수록 에너지소비 감소하고 고용자수, 자동차등록대수 같은 사회경제적 요인도 에너지소비에 영향을 준다는 것이다. 경제성장과 전력소비량과 상관관계를 다룬 연구로는 Steemers(2003)의 개발밀도와 전기에너지, Ratti et al.(2005)의 도시 물리적 구조와 에너지소비에 대한 연구, Chen et al.(2007), Karanfil and Li(2015)의 연구는 전력소비와 경제 성장 관련 연구 등이 있었다. 국내에서도 Jeon et al.(2010)는 한중일 3개국의 신재생에너지의 소비량을 결정하는 요인을 연구하여 국민소득이 증가하면 신재생에너지 소비량이 유의미하게 증가한다는 것을 밝혔다. 에너지 소비에서 소득과 인구의 증가는 큰 영향요인으로 BP Energy Outlook 2035 (BP, 2014)에서도 언급한 바 있다. 이에 본 연구에서도 도시 사회, 경제적 요인을 반영하였다.

우리나라에서 2000년대 초반에는 에너지절약을 위한 도시 계획 분야의 연구로 압축적 개발과 교통에너지 저감에 초점을 둔 연구가 이루어졌다. Ahn(2000)은 우리나라 22개 중소도시 교통에너지 소비량 도시 형태적 특성을 파악하여 밀도가 높고 도로가 확장될수록 토지이용이 집중될수록 교통에너지 소비 줄어든다고 하였다. Hwang et al.(2001)의 연구에서는 수도권 대상으로 인구밀도 높은 지역이 교통에너지 소비 적었다. 최근 들어서는 연구방법이 다양화 되고 있는데 기존의 단순한 회귀분석에서 확장되고 있는 모습을

보인다. Koo and Lee(2009)는 시스템 다이내믹스를 활용한 에너지 소비모형을 구축하여 서울시를 대상으로 2020년까지 변화를 살핀 결과 상업지역을 고용 중심의 고밀개발하고 주거지역은 용도 혼합을 높여 에너지 절감효과를 기대할 수 있다고 하였다. 그러나 서울시 전체 용도면적만을 고려하여 미시적 공간단위를 세분화하지 못하였다. Lee et al.(2011)는 대기오염지수를 이용하여 도시공간구조와의 상관관계를 교통지표를 이용하여 GWR 분석하여 실제 시간대별 교통흐름이 대기오염지수에 영향을 끼치는 것을 확인하였다. 역시 서울지역의 2007년 대기오염자동측정망 자료를 사용하였다. Kim and Moon(2011)은 압축도시의 토지이용 특성이 이산화탄소 배출에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 분석하였다. 쓰레기배출량, 인구밀도, 시가지면적이 이산화탄소 배출에 정의 영향을 미치고 혼합토지이용은 부의 영향을 나타냈다. 혼합적 토지이용이 이산화탄소 배출량을 감소시킨다고 보았다. Oh and Chung(2007), Kang(2011), Lee and Oh(2013)의 연구들도 서울지역의 자료를 이용하여 연구하였다. Yoo and Hwang(2015)은 지리중회귀모형을 이용하여 2005년 지자체 자료를 바탕으로 도시특성이 CO₂배출량 미치는 영향을 분석하였다. 공업지역 비율, 고령인구비율, 1차 산업 비중의 영향이 있으나 그 방향이 달라 지역성 고려해야 할 필요가 있다고 결론내렸다. 선행연구에서는 인구밀도가 높고 토지이용이 집중될수록 교통에너지의 소비는 줄었고 경제가 성장할수록 에너지 소비량이 늘어났다. 그러나 제한적인 연구 대상지 선정으로 서울지역 관련

연구가 많았다. 그럼에도 대상지의 특성에 따라 결과가 달라지기 때문에 지역에 필요한 연구를 위해 연구지역단위를 세부적으로 파악할 필요가 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 대표적인 도시공간구조의 특성이외에도 기존 연구가 많이 다루지 않은 사회경제적 요인 특히 지역 산업 특성을 파악하여 에너지소비량을 함께 고려하여 분석하였다.

3. 토지이용 및 제조업 특성에 따른 에너지 사용량과의 상관성 분석

3.1 변수의 구성

연구대상은 부산 16개, 울산5개 구군, 경상남도 창원, 김해, 밀양, 거제, 양산 5개 도시로 부산광역시도시권으로 선정하여 각 지역 통계연보에서 데이터를 수집하였다. 연구설계 단계에서는 경상남도 지역의 모든 시군구를 대상으로 진행하려했으나 데이터의 결측치가 많아 안정성이 떨어지기 때문에 제외하였다. 종속변수인 에너지 사용량은 2011년부터 2015년까지의 전기와 가스 연간사용량 데이터를 이용하였다. 부산광역시도시권으로 한정된 이유는 기존의 거시적 연구에서 한계점으로 지적되어온 지역적 특성을 반영한 연구를 진행하기 위함이다. 저탄소 배출 정책과 기후변화대응책에서 사회경제적 요인을 반영한 지역특성을 고려한 계획이 요구되고 있다고 언급한 Kim(2016)의 연구처럼 정책 환경의 변화를 반영하는 것이기도 하다.

Table 1. Summary of Dependent and Independent Variables

Classification		Variables	Unit	
Dependent variables		Electricity consumption (ele)	Kwh	
		Natural gas consumption (gas)	m ³	
Independent variables	Urban characteristics	Population	Total Population (pop)	Person
			Household (hou_hol)	Unit
			Population density (pop_den)	Person/km ²
		Urbanization	Area (area)	km ²
			Road density (road_den)	km/km ²
			Urbanization density (urb_den)	Person/km ²
	Zoning characteristics	Economic	Local tax (tax)	1000 won
			Registered automobiles	Car
			Housing area (hou_ar)	km ²
			Commercial area (com_ar)	km ²
	Manufacturing industries characteristics.		Industry area (ind_ar)	km ²
			Greenzone area (gre_ar)	km ²
			Consumer goods manufacturer (cons)	Unit
			Intermediate goods manufacturer (inter)	Unit
			Capital goods manufacturer (cap)	Unit
		Other goods manufacturer (other)	Unit	

본 연구에서 사용된 도시 특성은 Table 1과 같이 선행 연구들을 참조하고 추가하여 독립변수를 각각 도시규모, 도시화, 경제, 토지 이용, 제조업 특성을 선정하였다. 도시특성요소에서 도시규모특성은 인구(pop), (시가화)면적(area), 세대수(hou_hol), 인구밀도(pop_den, 인구/행정구역면적)라는 구성하였다. 도시화정도를 살펴보기 위해 시가화밀도(urb_den, 인구/주거+상업+공업의 시가지 면적), 도로밀도(road_den, 도로연장/행정구역면적)로 계산하여 사용하였다. 에너지사용량에 영향을 주는 주요 변수로 인식되는 도시 경제 특성 변수로는 지방세(ln_tax)와 자동차등록대수(auto_ar)를 추가하였다. 도시의 토지 이용 특성은 용도지역의 법률적 분류에 따라 주거(hou_ar), 상업(com_ar), 공업(ind_ar), 녹지(grem_ar) 지역 면적을 이용하였다.

본 연구의 주요 변수인 도시산업특성을 구분하기 위해 제조업을 재분류하였다. 그 이유는 연구대상지역인 부산광역시권은 2015년 10인 이상 광업·제조업체수 11,663개로 전국의 16.8%, 종사자

수 600,294명으로 전국의 20.3%, 부가가치 95,027십억원으로 전국의 19.1%를 차지하는 등의 제조업 중심의 도시산업특성을 가지고 있기 때문이다(Busan Metropolitan City, 2017). 「한국표준산업분류」의 제조업 분류를 기준으로 그 특성에 따라 소비재, 중간재, 자본재, 기타 제조업 사업체 군으로 재분류한 Seo and Choi (1998)의 연구를 현 기준에 맞게 부록과 같이 재인용(Table 2)하여 사용하였다. 재분류된 산업군의 해당지역 등록 사업체수를 합산하여 도시산업특성 변수를 소비재(cons), 중간재(inter), 자본재(cap), 기타(other)로 나누어 사용하였다.

3.2 패널모델

연구 지역의 5개년도 패널 데이터를 바탕으로 분석을 실시하여 검증을 통한 다섯 개의 모델 중 통계적으로 유의한 모델을 선정, 분석하였다. 패널 데이터는 동일한 횡단면(cross-section)에 대한 관측치가 시계열(time-series) 기간에 걸쳐 관찰된 자료이다. 그

Table 2. Classification of Manufacturing Industries

Classification	Kinds of Manufacture
Consumer goods	10. Manufacture of food products
	11. Manufacture of beverages
	13. Manufacture of textiles, except apparel
	14. Manufacture of wearing apparel, clothing accessories and fur articles
	15. Manufacture of leather, luggage and footwear
	17. Manufacture of pulp, paper and paper products
	18. Printing and reproduction of recorded media
Intermediate goods	16. Manufacture of wood and of products of wood and cork; except furniture
	19. Manufacture of coke, briquettes and refined petroleum products
	20. Manufacture of chemicals and chemical products; except pharmaceuticals and medicinal chemicals
	21. Manufacture of pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products
	22. Manufacture of rubber and plastics products
	23. Manufacture of other non-metallic mineral products
	24. Manufacture of basic metals
Capital goods	25. Manufacture of fabricated metal products, except machinery and furniture
	26. Manufacture of electronic components, computer; visual, sounding and communication equipment
	27. Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks
	28. Manufacture of electrical equipment
	29. Manufacture of other machinery and equipment
	30. Manufacture of motor vehicles, trailers and semitrailers
	31. Manufacture of other transport equipment
Other goods	12. Manufacture of tobacco products
	32. Manufacture of furniture
	33. Other manufacturing

Source: Seo and Choi(1998)

래서 패널분석은 횡단면과 시계열 데이터를 결합하여 시간적, 공간적 차원의 분석이 동시에 가능한 것이다. 또, 일반회귀분석에 비하여 표본 크기의 증가하여 다중공선성을 제어하고 시간의 흐름에 따른 동태적 변화를 연구하는 데 적합하다. 복잡한 행태 모형의 연구가 가능하여 실증분석을 풍부하게 만든다(Gujarati, 2003; Hsiao, 2003).

패널분석은 일반회귀분석에서 종속변수에 영향을 주지만 관찰되지 않아 설명되지 않고 남아있는 오차항의 이질성 효과를 고려하는 방식에 따라 분석 모형이 달라진다. 패널분석을 다음과 같은 회귀식으로 표현할 수 있다.

$$Y = \alpha + \beta X + \dots + \mu \tag{1}$$

$$\mu = u_i + \lambda_t + \epsilon$$

i(지역): 1,2,3,...,N

t(시간): 1,2,3,...,T

u_i : 관찰되지 않은 개체특성 효과(unobservable individual effect)

λ_t : 관찰되지 않은 시간특성 효과(unobservable time effect)

ϵ_{it} : 확률적 교란항(remainder stochastic disturbance term)

본 연구에서 활용한 패널모형은 일원고정효과모형(one-way fixed effect model), 일원확률효과모형(one-way random effect model), 이원고정효과모형(two-way fixed effect model), 이원확률효과모형(two-way effect model)로 구분된다.

본 연구에서는 패널모형 중 적합한 모델을 도출하고 그를 바탕으로 결과를 해석하였다. 시계열이 고려되지 않은 일반회귀분석(pooled ols)과 4개의 패널모형 중에서 연구에 적합한 모델을 판단하기 위해 Chow Test와 Hausman Test를 실시한다. Chow Test를 통한 F값으로 고정효과의 존재여부를 검증하여 통계적으로 유의한 경우 패널모형을, 유의하지 않으면 일반회귀인 OLS를 적합한 것으로 판단한다. 패널모형 중 Hausman test를 통해 확률 효과의 존재를 검증하여 유의한 통계량이 나올 경우 고정효과 모델을 반대로 통계적으로 유의하지 않는 경우 확률효과모형을 적합한 것으로 판단하여 해석하였다(Baltagi and Li, 2006; Choi et al., 2007; Lee and Noh, 2013).

3.3 토지이용 및 제조업 특성에 따른 에너지 사용량과의 상관성 분석

먼저 Table 3의 전기사용량과 도시, 토지이용, 제조업 특성요소의 상관성에 대한 패널분석 결과를 살펴보면, 0.6134의 설명력을

Table 3. Estimation Summary of Electricity Models

Variables	Pooled OLS	One-Way Fixed Effect Model	One-Way Random Effect Model	Two-Way Fixed Effect Model	Two-Way Random Effect Model
Intercept	-59.66295 ***	-10.1262 ***	-86.9686 ***	14.78487 *	7.527324 **
pop	-0.00020549 ***	-0.00034 ***	-0.00032 ***	4.56E-06	9.27E-06
hou_hol	0.00051634 ***	0.001143	0.00081 ***	-5.25E-06	-0.00002
pop_den	-0.00019381	0.000206 *	-0.00008	0.000024	-0.00001
area	-0.00287	-2.36006 ***	-0.00431	-0.02514	0.000476
road_den	0.12361	2.346508	0.091549	-0.04492	-0.00405
urb_den	0.00015663 ***	0.000047	0.000091 *	7.03E-06	5.28E-06
ln_tax	4.02041 ***	4.25903	5.563006 ***	0.23638	0.47055 ***
auto_ra	0.00003816	0.000055	0.000056	2.10E-06	-4.76E-06
hou_ar	-0.00205	-1.33196	-0.18942	0.068066	-0.02681
com_ar	-1.2219	-0.02398	-1.19397 **	0.105147	-0.05684
ind_ar	0.00908	-0.16931	-0.08422	-0.07079	0.060722 ***
gre_ar	0.00027287	0.012526	0.007218	0.024051	0.000157
cons	-0.00143	-0.01075	-0.00657 *	0.000218	0.000183
inter	0.00942	-0.00236	0.012867	-0.00004	0.000696
cap	-0.00134	0.003665	-0.00079	0.000052	-0.00017
other	-0.01473	0.063013	-0.01187	-0.00034	0.000276
R-square	0.4916	0.7552	0.6134	0.995	0.6366

*** : p<0.01, ** : p<0.05, * : p<0.10

가지는 일원확률효과(one-way random effect model)을 적합한 모형으로 도출하였다. 유의한 변수들을 살펴보면 세대수(hou_hol), 지방세 징수액(ln_tax)이 1%의 높은 유의수준으로 정(+)의 영향력 변수로 도출되었고 인구(pop) 변수가 1%의 유의수준으로 상업지역 면적(com_ar)이 5%의 유의수준으로, 소비재 제조업체수(cons)가 10%의 유의수준의 부(-)의 영향력 변수로 나타났다. 마지막으로 시가화밀도(urb_den) 변수가 정(+)의 방향으로 10%의 수준의 통계적 유의성을 보였다.

세대수가 많고 지방세 징수액이 높아 경제활동이 활발하고 시가화밀도가 높은 도시화된 지역이 전기사용량이 높은 것을 실증적으로 확인할 수 있다. 특히 도시가 경제활동이 활발하여 재정력이 높아지는 간접변수로 설명된다고 할 때 지방세 징수액으로 대변되는 경제특성은 전기에너지사용량을 증가시키는 주요 요인으로 볼 수 있다. 분석을 실시한 다른 모형에서도 모형의 신뢰도는 낮았지만 지방세 징수액 변수의 유의도는 매우 높게 나타났다. 전기에너지소비와 경제성장이 분리될 수 없고 상관관계에 있다는 것을 알 수 있다. 또한 도시화 정도를 대표하는 시가화밀도가 유의한 변수로 도출된 것을 볼 때 지역의 도시화는 전기에너지 소비를 증대시키는 것으로 도시의 경제성장요소와 연관될 것으로 추측할 수 있다. 총 인구와 세대수가 주는 효과가 다른 것은 인구의 개별적 효과보다 도시에 거주하는

가구, 세대수의 증가가 에너지사용량에 미치는 영향이 중요하다는 것을 보여준다. 고령화되고 있는 사회로 인한 독거노인 세대, 경제 사회적 상황으로 인한 청년 비혼 세대 등의 단독 1인 세대가 증가하고 있어 도시의 세대 수 증가가 주는 효과가 전기에너지 사용량에 미치는 영향도 큰 것으로 판단된다. 그러므로 세대수로 파악된 전기에너지 사용량의 증가로 보아 자발적인 온실가스 감축을 위한 에너지 저감 정책을 가구 차원에서부터 활성화시키는 것이 효율적일 것이다.

다음의 Table 4는 가스사용량과 도시, 토지이용, 제조업 특성요소의 상관성에 대한 패널모형분석을 실시한 결과로 일원고정효과모형(one-way fixed effect model)이 적합한 모형으로 도출되었다. 가스사용량은 인구(pop)와 면적(area), 자동차등록대수(auto_ra), 상업 지역 면적(com_ar)과 녹지지역 면적(gre_ar)에 정(+)의 영향을 받는 것으로 나타났다.

가스에너지 연간 사용량은 도시 특성요소 중 면적 특성이 가장 비중을 차지하는 증가요인으로 추정되었다. 특히 상업지역 면적이 라는 토지이용적 특성이 가장 유의미한 요소로 나타났다. 전기사용량과는 대조적으로 인구와 총면적의 도시규모적 특성은 유의한 상관성을 보였으나 시가화밀도나 도로밀도와 같은 도시화 특성요소와 제조업 특성은 통계적으로 유의한 수준에서 가스사용량과의 상관성을 보이지 않았다. 가스에너지 연간 사용량은 토지 이용

Table 4. Estimation Summary of Natural Gas Models

Variables	Pooled OLS	One-Way Fixed Effect Model	One-Way Random Effect Model	Two-Way Fixed Effect Model	Two-Way Random Effect Model
Intercept	21.75554 ***	-22.5448 *	17.16062 ***	-23.1661	17.16315 ***
pop	-0.00000488	0.000032 **	-6.70E-06	0.000041 **	-6.70E-06
hou_hol	0.00002912	7.28E-06	0.000034	-0.00002	0.000034
pop_den	0.00008522 *	-0.00012	0.00009	-0.00007	0.00009
area	-0.00687 ***	0.781521 **	-0.00667 ***	0.774418 **	-0.00667 ***
road_den	-0.0815 *	0.130359	-0.09208	0.106499	-0.09215
urb_den	0.00000309	-3.96E-06	-3.53E-06	2.00E-07	-3.51E-06
ln_tax	-0.12165	-0.11143	0.11796	-0.01404	0.117853
auto_ra	0.00001518	0.000026 *	8.84E-06	0.000021	8.79E-06
hou_ar	-0.34479 ***	0.011813	-0.30668 ***	-0.01543	-0.3066 ***
com_ar	0.02799	0.585295 ***	0.331197 **	0.542453 ***	0.330453 **
ind_ar	0.03088	-0.16606	0.042082	-0.13807	0.042046
gre_ar	0.02307 ***	0.125853 **	0.017408 **	0.127837 **	0.017432 **
cons	-0.00096065 **	0.002788	-0.00095	0.004015	-0.00095
inter	0.00393	-0.00019	0.001524	-0.00032	0.001525
cap	-0.00051424	0.000132	0.000285	0.000035	0.000283
other	0.00070745	-0.00524	0.000284	-0.00571	0.000302
R-square	0.7177	0.9487	0.2996	0.9505	0.3003

*** : p<0.01, ** : p<0.05, * : p<0.10

특성에서 전기사용량과는 달리 공업지역보다 상업지역 영향력이 큰 것으로 나타났다. 부문별 도시가스 소비 전체 현황을 볼 때 가정용과 상업용이 산업용 가스 사용량보다 높은 것에서 확인할 수 있다. 이는 부산광역시도시권의 신도시 입주나 대규모 쇼핑단지의 건설등과 같이 상업 지역의 에너지 다소비 건물수가 증가한 영향으로 추측할 수 있다. 또한 가스에너지가 난방과 취사 분야에서 많은 사용이 이루어진다는 것을 추측 할 수 있어 부산광역시도시권의 인구와 도시규모의 특성이 반영된다는 것 또한 실증적으로 확인되었다. 자동차등록대수로 대표되는 경제특성 역시 영향요인으로 분석되었다. 차량등록대수가 많은 지역은 그 반대의 지역보다는 상대적으로 경제적 상황이 나은 것으로 추측할 수 있다. 경제활동이 활발한 지역에서도 역시 전기 사용과 더불어 가스 에너지 사용량이 많은 것으로 확인 되었다. 자동차등록대수는 본 연구에서 경제적 특성 대리변수로 사용되었지만 이는 수송에너지와 대기오염과의 연관성이 높은 변수이기도 하다. 또한 중장기적으로는 산업용, 수송용 가스사용량의 수요가 증가할 것으로 예측되고 있기 때문에 이와 관련하여 온실가스 감축과 같은 저탄소 도시계획의 중요한 관리 대상이 될 것으로 전망된다.

에너지사용량은 인구나 세대수와 같이 도시 규모적 특성의 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 지방세 징수액과 상업지역 면적, 자동차등록대수의 영향을 받는 것으로 보아 도시의 경제 성장과 관련이 있었다. 공업지역면적이 에너지사용량과 관련성을 클 것으로 생각되었으나 오히려 상업면적의 영향이 나타났다. 그동안 우리나라는 경제성장과 산업 활동 지원을 위해 낮은 전기요금으로 국가가 적극적으로 공급중심 에너지 정책을 시행하였다. 이로 인해 에너지 소비의 전기화 현상(electrification)이 심화되고 있으며 산업부문의 전력소비가 증가세에 있다. 낮은 전기요금으로 인한 산업부문, 특히 제조업 부문의 전력수요관리 정책이 필요한 시점이다. 본 연구의 대상지역은 지역적 특성으로 부산광역시, 울산광역시, 경남 도시권은 제조업 의존도가 높은 특성을 가지고 있어 이는 부산광역시도시권 지역의 경제 성장과 미래 에너지 정책에 연관성이 크다고 하겠다.

4. 결론

본 연구에서는 부산광역시 16개, 울산광역시 5개 구군, 경상남도 창원시, 김해시, 밀양시, 거제시, 양산시 5개 도시를 부산광역시도시권 대상지역으로 선정하였다. 종속변수인 에너지 사용량은 2011년부터 2015년까지의 전기와 가스 연간사용량 데이터를 이용하였다. 본 연구는 도시의 인구, 도시화, 경제적 특성과 토지이용 특성으로 용도지역, 부산광역시도시권의 특성으로 제조업 특성요소를 다양하게 고려하여 전기와 가스의 에너지 사용량과의 연관성을 실증적으

로 분석하였다. 그 결과로 통계적으로 유의미한 변수 중에서도 세대수와 면적의 도시 규모 특성과 지방세 징수액, 자동차 등록대수와 같은 경제적 특성, 도로와 시가화밀도 등의 도시화 특성은 에너지 사용량을 증가시키는 상관요인들로 도출되었다.

산업혁명과 급격한 도시화로 인한 대규모 화석연료 사용과 탄소 배출은 지구 온난화 현상의 원인이 되어 기후변화를 일으키고 있다. 국가 단위 뿐 아니라 도시에서도 에너지 소비의 급격한 증가는 도시의 지속가능성 문제를 자극하고 있다. 대니얼 예긴(Daniel Yergin)은 산업혁명과 함께 시작된 '석탄의 시대'가 '석유의 시대'로 변화한 과정을 설명하였고 앤드리 코노프리닉(Andrey Konoplynik)은 최근의 에너지 환경은 전기가 에너지 시스템과 시장을 지배하는 전환기라고 보았다. 급증하는 에너지 소비와 그에 따른 온실가스 배출로 인한 기후변화는 도시민의 정주 공간을 위협하는 요소가 되어가고 있는 것이다. 그리하여 기후변화에 따른 도시계획분야의 대응책 또한 온실가스 배출과 관련된 에너지 소비량을 저감시키고 그 효율성을 증대시키는 정책으로 귀결될 수밖에 없다. 도시계생으로 인한 토지이용이나 업체들의 재정비시에 기존 업체나 지역의 실 사용량을 비교하여 특성별로 관리기준을 신설하고 효율적 관리를 이루어진 지역이나 업체, 단지에 지원을 하는 에너지 관리 정책이 제안한다. 그러기 위해서는 용도별, 사업구분별, 지역 특성별 사용량 추이를 분석 가능한 모니터링 시스템의 확충이 선행되어야 한다. 제조업 부문과 공업지역 뿐 아니라 상대적으로 산업계보다 관심 밖에 있는 가정, 상업부문과 녹지지역의 에너지소비 부문의 노력도 병행되어야 한다. 에너지 사용량의 가시적이고 이해하기 쉬운 정보제공으로 증감의 효율적 관리를 위한 정보의 접근성을 높여야한다. 이를 통해 각 분야의 시민참여를 유도할 수 있는 것이다.

에너지 소비 급증과 그에 따른 피해 양상, 국가와 도시의 에너지 정책 환경의 변화는 도시특성과 에너지사용량과의 상관 요인을 분석이 필요하다는 문제의식을 가지게 하였다. 그간의 도시계획분야의 연구가 교통에너지와 환경 오염분야에 초점이 맞춰져왔기 때문이다. 또한 본 연구는 그간 거시적인 수준에만 머무른 국가별, 수도권 중심의 연구지역을 실제 지역특성을 반영하기 위해 부산광역시도시권의 시군구 데이터로 미시적인 단위수준으로 좁혀 실증분석 했다는 점에서 의의를 가진다.

하지만 본 연구 대상인 에너지 사용량의 시군구 단위의 데이터 제공이 2011년부터 체계화되어 시계열 데이터 수집에 많은 어려움이 있었다. 소도시일수록 과거 통계자료가 정리되어있지 않고 결측치가 많아 사용하지 못하는 점도 있었다. 패널분석에 있어 정확한 패널데이터 구축이 가장 중요한 요소이기 때문이다. 또 도시 특성 데이터에서 경제적 특성의 대리변수 사용이 불가피한 경우가 있었고 산업적 특성 파악에 부족한 점이 있어 추후 연구에서 관련된

부분을 보완할 필요가 있을 것이다.

시군구 단위의 데이터에서 지역 간의 상호 영향이 있을 것으로 사료되어 이를 분석하기 위한 공간적 계량 분석을 활용한 공간 의존 요소를 반영하는 추후 연구 과제로의 확대가 기대된다. 또 전기와 가스 에너지뿐 아니라 신재생에너지의 활용과 도시계획단계에서의 지역난방과 같은 집단에너지 시스템의 활용 등의 대응책에 관한 연구들로 뒤따라야할 것으로 보인다.

본 연구는 수도권 중심의 에너지 소비 분석에서 벗어나 부산광역시권 지역사회 에너지 정책의 이론적 근거를 마련하는 데 도움이 되고자 하였다. 부산광역시권이 에너지소비와 경제성장이 분리되지 않고 있는 성장하는 도시권이라는 점에서 도시에너지 정책의 효율성 확보는 큰 과제라고 할 것이다. 도시 에너지 정책의 효과적인 대응을 위해 도시특성에 맞는 전략 마련이 필요하며 지역단위로 이행이 가능한 정책을 제시해야 한다. 지역 맞춤형 정책 추진을 위해 해당 지역과 그 연계 지역의 현황과 문제점에 대한 충분한 조사와 데이터 축적 그리고 적합한 분석 연구는 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2019 ‘BK21 플러스 사업’(과제번호 : F19HR32 T2603)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

Ahn, G. H. (2000). "A study on the correlation between variables of urban form and energy consumption." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 35, No. 2, pp. 9-17 (in Korean).

Baltagi, B. H. and Li, D. (2006). "Prediction in the panel data model with spatial correlation: the case of liquor." *Spatial Economic Analysis*, Vol. 1, No. 2, pp. 175-185.

Banister, D., Watson, S. and Wood, C. (1997). "Sustainable cities: transport, energy, and urban form." *Environment and Planning B: planning and design*, Vol. 24, No. 1, pp. 125-143.

British Petroleum (BP) (2014). *BP energy outlook 2035*. BP stats, Lodon.

Breheeny, M. (1995). "The compact city and transport energy consumption." *Transactions of the institute of British Geographers*, pp. 81-101.

Busan Metropolitan City (2017). *Busan Metropolitan City Area Statistics* (in Korean).

Chen, S. T., Kuo, H. I. and Chen, C. C. (2007). "The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries." *Energy Policy*, Vol. 35, No. 4, pp. 2611-2621.

Chiu, R. L. (2002). "Social equity in housing in the Hong Kong special administrative region: A social sustainability perspective." *Sustainable development*, Vol. 10, No. 3, pp. 155-162.

Choi, Y., Moon, S. H. and Yim, H. K. (2007). "Assessing the impact of the factors of urban characteristics on air pollution using panel model." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 42, No. 3, pp. 191-202 (in Korean).

Elkin, T., McLaren, D. and Hillman, M. (1991). *Reviving the city: towards sustainable urban development*. Friends of the Earth Trust, London.

Gordon, P., Richardson, H. W. and Jun, M. J. (1991). "The commuting paradox evidence from the top twenty." *Journal of the American Planning Association*, Vol. 57, No. 4, pp. 416-420.

Gujarati, D. (2003). *Basic econometrics. Forth Edition*. Singapura: McGraw-Hill. New York.

Holden, E. and Norland, I. T. (2005). "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, No. 12, pp. 2145-2166.

Hsiao, C. (2003). *Panel data analysis*. In: Cambridge University Press: Cambridge.

Hwang, K. H., Cheon, H. Y. and Na, H. J. (2001). *Land use strategies for shaping the capital region transportation fuel-efficient growth patterns*. Gyeonggi Research Institute Report, 2001-11, pp. 1-4 (in Korean).

Integrated Plate Boundary Observatory Chile (IPOC) (2014). *Climate change 2014: synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, RK Pachauri and LA Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jeon, M. H., Jang, W. J. and Kim, Y. K. (2010). "Analysis of the factor of renewable energy consumption in Korea, China and Japan." *Journal of the Korean society for New and Renewable Energy*, Vol. 6, No. 3, pp. 13-21. (in Korean).

Kang, C. D. (2011). "Analysis on energy consumption and its policy implication in seoul with spatial econometrics - focusing on electricity and gas consumption." *Seoul Studies*, Vol. 12, No. 4, pp. 1-22 (in Korean).

Karanfil, F. and Li, Y. (2015). "Electricity consumption and economic growth: exploring panel-specific differences." *Energy Policy*, Vol. 82, pp. 264-277.

Kim, B. K. and Moon, T. H. (2011). "A study on the effects of land use characteristics of compact city on CO₂ emission." *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol. 19, No. 2, pp. 101-115 (in Korean).

Kim, H. Y. (2016). "Simulation of land use change by storylines of shared socio-economic reference pathways." *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 19, No. 2, pp. 1-13. (in Korean).

Koo, H. S. and Lee H. Y. (2009). "Construction of the energy consumption model according to urban spatial structure using system dynamics." *The Korea Spatial Planning Review*, pp. 211-233 (in Korean).

Korea Energy Economics Institute (KEEI) (2016). *Yearbook of Energy Statistics* (in Korean).

- Lee, H. Y. and Noh, S. C. (2013). *Advanced Statistical Analysis Theory*, Moonwoo, Seoul (in Korean).
- Lee, S. and Oh, K. (2013). "Analyzing the relationship between urban spatial form and energy efficiency - The case of Seoul, Korea." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 48, No. 2, pp. 139-153 (in Korean).
- Lee, W. D., Won, J. S. and Joh, C. H. (2011). "A study of correlation between air environment index and urban spatial structure: Based on land use and traffic data in Seoul." *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, p. 14. (in Korean).
- Newman, P. W. and Kenworthy, J. R. (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.
- Oh, K. S. and Chung, H. B. (2007). "The influence of urban development density on air pollution." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 42, No. 5, pp. 197-210 (in Korean).
- Owens, S. E. (1991). *Energy-conscious Planning: the case for action*. Council for the Protection of Rural England, London.
- Ratti, C., Baker, N. and Steemers, K. (2005). "Energy consumption and urban texture." *Energy and Buildings*, Vol. 37, No. 7, pp. 762-776.
- Seo, E. T. and Choi, Y. (1998). "An empirical impact analysis of regional industry on local finance ; centering on six metropolitan cities." *Journal of the Korean Resional Development Association*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-16 (in Korean).
- Steemers, K. (2003). "Energy and the city: density, buildings and transport." *Energy and Buildings*, Vol. 35, No. 1, pp. 3-14.
- Stone Jr, B., Mednick, A. C., Holloway, T. and Spak, S. N. (2007). "Is compact growth good for air quality?" *Journal of the American Planning Association*, Vol. 73, No. 4, pp. 404-418.
- Wegener, M. (1996). "Reduction of CO₂ emissions of transport by reorganisation of urban activities." *Transport, land-use and the Environment*, Springer, Boston, pp. 103-124.
- Yoo, S. P. and Hwang, J. W. (2015). "Effects of urban characteristics on CO₂ emission by region." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 50, No. 2, pp. 197-210 (in Korean).