

가구 부문의 에너지 소비 및 이산화탄소 배출구조 분석을 통한 온실가스 감축 방안에 관한 연구¹⁾

Analysis of Energy Consumption and CO₂ Emissions Structure in Household Sector

노승철 Noh Seungchul²⁾

Abstract

The purpose of this study is to determine various factors that affect energy consumption per capita and analyze CO₂ emissions structure in household sector. This Study empirically examines the effects of 6 different factors on household energy consumption(oil and city-gas, electricity, and private cars) and CO₂ emissions in 81 cities using PLS-SEM: household characteristics, housing characteristics, transport infrastructure, private cars, urban characteristics and urban compactness. The results show that each energy consumption depends on different factors. While oil and city-gas consumptions are affected by housing performance more than household characteristics, electricity and private car-use depend on household consumption behavior. Also, All the factors affect residential and transportation energy consumption and energy source both directly and indirectly. So it is necessary to take a integrated and structural approach that can explore and interpret relationships between factors.

Keywords: Household energy Consumption, CO₂ Emissions Structure, Structural Equation Model, Partial Least Square

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리가 배출하는 온실가스의 대부분이 에너지를 생산하는 과정에서 배출된다는 사실이 인식되면서(에너지관리공단, 2011; IEA, 2011) 에너지 소비 감소를 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한 산업·상업 부문은 산업 간 연관관계로 인해 에너지 소비 감소를 위해 장기적 투자가 필요한 반면 비교적 소비 감소 효

과가 빠른 가구의 에너지 소비에 대한 관심도 높아지고 있다(Ironmonger et al. 1995). 우리나라도 국내 총 에너지 소비의 4분의 1이 가구의 냉난방·취사·자 가용 등에 의해 소비되고(지식경제부, 2011) 소비량도 꾸준히 증가하고 있기 때문에 국내 이산화탄소 배출량 감소를 위해 가구의 에너지 소비를 줄이는 노력이 필요한 시점이다.

신재생에너지의 보급률이 낮은 시점에서 가구의 에너지 소비로 배출되는 이산화탄소를 줄이기 위해서는 에너지 소비를 줄여야 한다. 현재의 에너지 소비

1) 본 논문은 노승철, 2013. "가구 부문의 에너지 소비요인과 이산화탄소 배출구조 분석". 서울대학교 박사학위 논문을 수정·보완한 것임.

2) 한국농촌경제연구원 전문연구원 | Associate Specialist, Dept. of Rural Policy Research, Korea Rural Institute | nsc0203@krei.re.kr

수준을 유지하면서도 소비량을 줄이려면 에너지 고효율 기술의 개발과 보급이 필요하다. 그러나 지금까지 꾸준한 에너지 고효율 기술에도 불구하고 에너지 소비감소 효과는 기대에 못 미치고 있다. 이는 에너지 효율 개선속도에 비해 소득증가와 인구성장에 따른 에너지 소비의 증가속도가 더 빠르고(이성근·이성인, 2008), 또한 에너지 고효율기술을 수용하고 사용하는 사람들의 소비 행태가 기대와는 다르기 때문이다(Greening et al. 2000; Herring, 2006; Saunders et al. 2013; Yu et al. 2013).

따라서 에너지 소비를 줄이기 위해서는 에너지 고효율기술 개발과 함께 개인과 가구의 에너지 소비행태에 관한 연구가 필요하다(Janda, 2011; Krström, 2008). 이와 같은 맥락에서 국내외 선행연구들은 에너지 소비요인을 도출하기 위해 소득, 연령 등 가구의 사회·경제적 요인과 주택, 도로 등 물리적 환경이 가구의 에너지 소비에 미치는 영향을 다양한 측면에서 분석하였다. 이는 각 요인이 에너지 소비에 미치는 직접적인 관계를 검증하는 데 초점을 둔 연구라고 할 수 있다.

그러나 가구의 에너지 소비는 주변 환경을 고려한 가구의 의사결정 결과이기 때문에 효율적인 이산화탄소 감축을 위해서는 개인과 지역의 경제·사회·물리적 환경 간 관계를 고려한 통합적 연구의 필요성이 제기되었다(Hitchcock, 1993; Lutzenhisser, 1992). 즉 가구의 에너지 소비는 다양한 요인의 구조적 관계 속에서 이해되어야 한다. 이러한 요인들은 상호 영향을 주고받고 있기 때문에 요인 간 상호관계 속에서 한 요인이 직접적으로 에너지 소비에 영향을 미치기도 하지만 다른 요인을 통해 에너지 소비에 영향을 미치는 간접적인 영향도 함께 미칠 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 아직 요인 간 상호관계를 고려한 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출구조에 관한 연구는 많이 이루어지지 못하고 있다.

이에 본 논문은 가구의 이산화탄소 배출구조를 구축하여 에너지 소비요인들이 상호관계를 통해 가구의 에너지 소비와 그에 따른 이산화탄소 배출량에 미치는 직·간접 영향을 분석하는 데 목적을 두었다.

2. 연구방법 및 자료

본 논문은 크게 에너지 소비요인의 도출과 이산화탄소 배출구조 분석으로 구성되어 있다. 우선 국내외 선행연구를 통해 가구의 에너지 소비요인을 가구, 주택, 도시 등 다양한 범위에서 도출하고, 국내 도시 가구 부문의 에너지 소비 자료를 이용하여 가구의 이산화탄소 배출구조를 실증분석하였다.

본 논문에서 가구의 에너지 소비는 가구원이 다양한 활동에 의해 소비하는 직접에너지만을 대상으로 하였다. 가구의 에너지 소비 중 재화나 서비스 구매를 통한 간접에너지 소비는 상품의 생산과 유통 과정에서 소비되기 때문에 가구의 에너지 소비행태의 영향을 파악하기 어렵다. 이에 본 논문의 범위에서는 제외하였다.

또한 가구의 에너지 소비를 에너지 소비 환경과 행태의 차이를 고려하여 주택 내 에너지 소비(이하 주거에너지)와 주택 외에서 자동차 이용에 따라 소비되는 에너지(이하 자가용에너지)를 모두 포함하였다. 그동안 주거와 자가용에너지 소비는 소비공간이 다르기 때문에 서로 다른 분야에서 연구되어 왔으나, 두 에너지 모두 가구의 일상 활동에 의해 직접적으로 소비된다는 점에서 두 부문은 통합하여 분석할 필요가 있다. 주택 외부 활동의 증가는 자가용에너지 소비를 증가시키고 주거에너지 소비를 감소시키기 때문에 한 부문에 대한 분석은 가구의 에너지 소비가 두 부문 간 전이된 것인지 한 부문의 에너지 소비가 감소한 것인지 파악할 수 없다. 이에 본 논문에서는 가구의 에너지 소비를 주택 내 주거에너지와 자가용을 이

용한 에너지 소비를 합한 에너지로 정의하였다.

주거에너지 소비는 2010년 가정용 석유(한국석유공사, 2011), 도시가스(한국도시가스협회, 2010), 전력 소비량(한국전력공사, 2011)으로 측정하였으며, IPCC(2007)의 탄소배출계수(〈부록 5〉 참조)를 이용하여 이산화탄소 배출량을 산출하였다.³⁾

주거에너지에 비해 가구의 자가용 이용에 따른 에너지 소비량을 파악할 수 있는 자료는 매우 제한적이다. 국내 연구에서 가장 많이 사용되는 자료는 한국석유공사의 지역별 도로 부문 휘발유 판매량이다. 그러나 휘발유 판매량은 자가용의 소비량을 분리할 수 없고, 지역 내 휘발유 판매량으로 통과 차량의 소비량도 집계될 수 있기 때문에 지역 주민의 자가용 이용량으로 보기 어렵다. 한편 표본 자료로 에너지총조사와 국가온실가스 배출량 조사의 자가용 부문 조사 자료는 가구의 자가용 이용 성향과 행태를 파악할 수 있고, 주거와 자가용 이용에너지를 함께 비교할 수 있는 장점이 있으나, 소비량이 시·도 단위로 집계되어 있기 때문에 지역별 가구의 에너지 소비 행태를 파악하는 데 한계가 있다.

이에 본 논문은 가구의 자가용 이용량을 2010년 자동차주행거리 실태조사(교통안전공단, 2011)에서 지역별 평균 자가용 주행거리를 이용하여 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 산출하였다.⁴⁾ 자가용 주행거리는 각 지역에 본거지를 두고 있는 자가용의 주행거리가 측정되었기 때문에 각 지역 주민의 자가용 이용 성향을 파악하는 데 유리하다. 그러나 주행거리 외 사용연료, 연비 등 차량의 성능 등을 알 수 없기 때문에 지역별 자가용의 연료 소비량은 동 자료의 자가용 평균 연비를 사용하였으며, 이산화탄소 배출량

은 모든 자가용의 연료를 휘발유로 가정하고 휘발유의 탄소 배출계수를 통해 산출하였다. 따라서 본 논문에서 사용하고 있는 자가용의 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량은 주행거리에 근거한 대략 산출량으로 실제 산출량과는 차이가 있다. 또한 가구의 자가용 이용만으로 측정하였기 때문에 대중교통을 이용한 에너지 소비량은 제외되어 가구가 주택 외부에서의 이동을 위해 소비한 총에너지 소비량과도 차이가 있다.

II. 선행연구 고찰

1. 주거에너지 소비요인

주거에너지 소비에 관한 연구는 주거학이나 건축학 분야를 중심으로 소득, 연령 등 가구 특성과 건축자재, 냉난방 설비, 단열 등 건물의 에너지 효율이 에너지 소비에 미치는 영향에 관한 연구들로 이루어져왔다(배민호 외, 2008; 송승영·이수진, 2008). 최근에는 밀도와 같은 도시 형태가 주거에너지 소비에 미치는 영향에 대한 연구들이 증가하고 있다. 주로 도시 형태 또는 밀도에 따른 주택 유형, 높이, 블록(block)의 특성이 가구의 직·간접에너지 소비에 미치는 영향에 관한 연구들이 이루어지고 있다.

국내의 선행연구에서 나타난 주거에너지 소비요인들을 정리하면 〈표 1〉과 같다. 주거에너지 소비요인을 보면 주택의 물리적 성능이 가장 큰 영향을 미치고 있으나, 개인 및 가구의 사회·경제적 특성, 생활양식의 변화, 주택 특성, 도시 특성 등도 직·간접적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 에너지원에 따라 소비 요인도 다소 차이를 보인다. 난방

3) 에너지 총조사에 따르면 가정에서 사용하는 주로 사용하는 에너지는 연탄, 석유류, 도시가스, 전력, 열, 입산연료 등 6가지이나 석유류, 도시가스, 전력이 90% 이상을 차지하며 그 외 에너지의 소비 자료 취득의 어려움으로 제외함.

4) 자가용 이용에 의한 이산화탄소 배출량은 자료의 한계로 모든 자가용의 연료를 휘발유로 가정하고(지역별 평균 자가용 주행거리(km)×2010년 자가용 평균 연비(ℓ/km)×휘발유의 탄소 배출계수)를 통해 산출.

표 1_ 국내·외 선행연구에서 나타난 주거에너지 소비에 영향을 미치는 요인

에너지 소비요인	측정지표	1인당 주거에너지 소비 측정지표			
		총소비량	난방에너지	전력	에너지 절약행동
개인 특성	나이	(-)	(-)	(+)/(-)	(+)
	성별(여성)	(+)	(+)	(+)	(-)
	교육수준	(-)			(+)/(-)
가구 특성	소득	(+)	(+)	(+)	(-)
	직업(근로자)	(-)	(-)		
	여성경제활동	(-)	(-)		
	가구원수	(-)	(-)	(+)	
	가구구성 (유아 또는 성인 수)	(+)	(+)	(+)	
	자가소유	(-)	(-)		(+)
생활양식 변화	주택 내 거주시간	(+)	(+)	(+)/(-)	
	여가증대	(-)	(-)	(-)	
주택 특성	공동주택	(-)	(-)	(+)/(-)	(-)
	주택면적	(+)	(+)	(+)	(+)
	신규주택	(-)	(-)	(-)	
	방수	(+)	(+)	(+)	
	건축재료(단열)	(-)	(-)	(-)	
	냉방/가전기기			(+)	
도시 특성	인구밀도	(-)	(-)	(+)/(-)	
	인구규모	(-)	(-)	(+)/(-)	(+)
	연중 최고기온			(+)	
	연중 최저기온		(+)		
	에너지 가격	(-)	(-)	(-)	

주: 1) 부호는 에너지 소비요인과 주거에너지 소비량 간 관계이며, 두 부호가 함께 있는 요인은 연구에 따라 결과가 다른 요인임.
 2) 공란은 에너지 소비량에 미치는 각 요인들의 영향이 연구에 따라 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났음을 의미함.
 3) 국내의 선행연구의 주요 지표 및 분석 결과는 <부록 6> 참조.

에너지 소비는 주로 주택 유형, 면적, 재료 등 주택의 열효율에 영향을 미치는 주택의 물리적 성능이 주요한 요인으로 나타난 반면, 전력 소비는 개인과 가구의 사회·경제적 특성에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 고층 건물은 외피면적이 적어 단위면적당 냉·난방에너지 소비가 적으나(Qin and Han, 2013), 수직 이동거리 증가로 인해 승강기 사용에 따른 전력 소비가 증가할 수 있고(양희진·최막중,

2011), 열섬현상으로 냉방에너지 소비를 증가시킬 수도 있다. 도시의 밀도, 접근성, 중심성 등이 직접적으로 주거에너지 소비량에 미치는 영향은 적지만 주택의 크기와 유형 선택에 간접적인 영향을 주는 요인이 될 수 있다(Ewing and Rong, 2008). <표 1>에서 ‘공동주택’, ‘인구밀도’, ‘인구규모’ 등의 요인들이 연구에 따라 영향 부호가 다르게 나타난 것은 이와 같이 도시의 특성에 따라 냉난방 에너지 소비, 전력 소비 특성이 다르기 때문에 연구 대상에 따라 결과가 다

른 것으로 볼 수 있다. 또한 미국의 도시를 대상으로 분석한 결과 열섬현상으로 냉방에너지가 증가할 수 있으나 난방에너지 감소효과가 더 큰 것으로 나타나, 압축도시가 확산형(sprawl) 도시에 비해 약 20~40%의 주거에너지와 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다(Ewing and Rong, 2008).

주택 특성 외에 가구의 사회·경제적 특성이 주요한 난방에너지 소비요인으로 나타나고 있으며 이는 생활양식 및 주택 내 거주시간과 관련이 있다. 맞벌이 부부의 증가, 야외여가활동의 증가 등 가구원의 생활양식이 점차 주택 내 거주 시간이 짧은 형태로 변하게 되면 주거에너지 소비량은 그만큼 줄어든다. 그러나 선행연구에서 생활양식의 변화가 에너지 소비에 미치는 영향은 일정하지 않다. 주택 내 거주시간이 길수록 에너지 소비가 많아지나 거주하는 사람이 고령자 또는 에너지 절약정신이 투철한 가구원인 경우에는 에너지 소비량이 오히려 감소할 수 있기 때문에(Schipper, 1989; 원두환, 2012) 주택 내 거주시간은 가구원의 사회·경제적 특성과 함께 분석해야 한다.

이와 같이 주거에너지 소비요인은 가구 특성과 주택의 물리적 성능이 서로 밀접하게 연관되어 상호작용을 통해 주거에너지 소비량에 직·간접 영향을 미치고 있다(Yun and Steemers, 2011). 가구는 소득, 연령, 가구원수 등에 따라 주택의 유형, 면적 등을 결정하고, 반대로 주택의 에너지 효율, 냉난방 설비 등 물리적 성능은 가구원들의 에너지 소비행태에 영향을 미친다. 따라서 가구와 주택 특성은 주거에너지 소비에 직간접적인 영향을 함께 미칠 수 있다. 두 요인에 비해 도시의 형태와 밀도가 주거에너지 소비량에 미치는 영향은 매우 제한적이고 측정도 어려우나 지역 간 에너지 소비량을 비교한 연구들을 보면 유사한 사회경제적 특성을 가진 가구가 지역에 따라 매우 다른 에너지 소비 패턴을 나타내며, 이는 지역의 자연적·인공적 환경이 주거에너지 소비에 영향을 미치고 있

음을 보여준다.

2. 교통에너지 소비요인

1990년대 교토의정서 등 기후변화와 관련된 관심이 증대되면서 지속가능한 개발을 위해 기후변화와 온실가스 감축을 위한 저탄소 도시(low carbon city), 탄소 중립 도시(carbon neutral city), 탄소 무배출 도시(Zero Emission City: ZEC) 등 에너지 저소비·저탄소형 도시 형태를 제안하는 연구가 이루어져 왔다.

에너지 저소비형 도시 형태에 관한 연구들은 주로 도시의 밀도(density), 혼합도(diversity), 디자인(design)이 에너지 소비량에 미치는 영향을 밝히는 데 노력해 왔으며(Lin and Yang, 2009; Marshall, 2008). 특히 압축도시(compact city) 등 밀도에 관한 논의가 가장 활발히 진행되었다.

국내·외 선행연구 고찰을 통해 가구의 자가용 에너지 소비에 영향을 미치는 요인을 정리하면 <표 2>와 같다. 인구밀도가 높을수록 교통에너지 소비량이 적다는 Newman and Kenworthy(1989)의 연구 이래 압축도시 특성 요인들이 자동차 연료 소비와 그로 인해 발생한 이산화탄소 배출량을 감소시키는 영향에 대한 연구들이 최근까지도 꾸준히 진행되고 있다(김리영·서원석, 2011; 안건혁, 1998; 조운애·김경환, 2008; Grazi et al, 2008; Liu and Shen, 2011; Newman and Kenworthy, 2006). 이러한 연구들은 대상 지역은 다르지만 대부분 밀도가 증가하고 혼합적 토지이용이 이루어질수록 교통에너지 소비량이 줄어들고 그에 따라 이산화탄소 발생량도 줄어든다는 결과를 보여주고 있다. 압축적 도시개발에 따라 다양한 기능들이 근거리에 위치하기 때문에 이동거리가 줄고, 이동수단을 자가용에서 대중교통으로 바꿈으로써 더 적은 에너지로 더 많은 사람이 이동할 수 있기 때문이다.

표 2_ 국내·외 선행연구에서 나타난 교통에너지 소비에 영향을 미치는 요인

에너지 소비요인		측정지표	자가용에너지 소비 측정지표			
			통행 발생량	자가용 이용률	1인당 주행거리	1인당 휘발유 소비량
도시 형태	밀도	인구밀도	(-)	(-)	(-)	(-)
		고용밀도	(-)	(-)	(-)	(-)
		공동주택 비율	(+)	(-)	(-)	(-)
	혼합도	토지이용혼합도		(-)	(+)/(-)	(+)/(-)
		직주혼합	(-)	(+)/(-)		(-)
교통기반시설	도로	도로밀도(면적)	(+)/(-)	(+)	(+)	(+)/(-)
	도로망	교차로밀도		(+)	(-)	
	연료	연료 가격			(-)	
대중교통 보급	접근성	버스 정류장 밀도	(-)	(-)	(-)	(-)
		지하철 접근성	(-)	(-)	(-)	(-)
개인 및 가구 특성		나이		(+)		
		성별(여성)		(-)		
		교육수준		(+)		
		소득	(+)	(+)	(+)	(+)
		가구원수		(-)	(+)	
		자동차 보유대수	(+)	(+)	(+)	(+)
		통근거리	(-)	(+)/(-)		(-)
	도심까지 거리		(+)	(+)/(-)		

주: 1) 부호는 에너지 소비요인과 자가용 에너지 소비량 간 관계이며, 두 부호가 함께 있는 요인은 연구에 따라 결과가 다른 요인임.
 2) 공란은 에너지 소비량에 미치는 각 요인의 영향이 연구에 따라 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났음을 의미함.
 3) 국내·외 선행연구의 주요 지표 및 분석 결과는 <부록 7> 참조.

이와 같은 인식에서 최근에는 도시 형태가 가구의 자동차 소유나 이용률 또는 수단 선택에 미치는 영향을 분석함으로써 도시 형태와 자동차에너지 소비 분석에 대한 연구도 이루어지고 있다. 대부분 고밀 개발은 직접적으로 통행 발생률과 대중교통 서비스 이용을 높이며, 간접적으로는 개인의 자동차 선택 확률을 감소시키고, 토지이용 혼합이나 복합개발을 나타내는 다양성은 통행 발생량을 직접 감소시키는 것으로 나타났다(Lin and Yang, 2009; Liu and Shen, 2011). 대부분의 연구에서 고밀도시와 대중교통 보급은 교통에너지 소비를 줄이고 자동차와 도로의 공급을 늘리는 것으로 나타났다. 그러나 토지이용 혼합 및 직주 혼합 등 ‘혼합도’ 요인은 연구에 따라 차이를 보인다.

이는 용도 혼합이 여러 기능을 짧은 거리에서 이용할 수 있고 이동거리를 줄이는 효과와 다양한 기능이 집적되어 있기 때문에 자동차를 이용하는 불편함을 감소할 정도의 효용을 지니고 있다. 따라서 연구에 따라 두 효과가 상반된 부호를 나타내기도 한다. Cervero and Murakami(2010)에 따르면 인구밀도가 직접적으로 주행거리를 감소시키지만 간접적으로 도로 밀도, 소매업 밀도 그리고 기반산업(basic-job) 접근성을 높여 주행거리를 증가시키는 효과도 있는 것으로 나타났다. 직접효과를 통한 주행거리 감소효과가 더 크기 때문에 결과적으로 밀도는 주행거리를 감소시키는 것으로 산출되었으나, 이 결과는 지역의 상황에 따라 압축도시의 교통에너지 소비 감소효과가 예상

보다 적고, 지역 여건에 따라 오히려 주행거리를 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다.

또한 도시의 밀도가 장거리 여가통행에는 큰 효과를 미치지 못하기 때문에 교통 부문 전체적으로는 이산화탄소 배출 감소가 크지 않다는 연구(Boarnet and Sarmiento, 1998)도 제시되었으며 지역의 공간 구조, 고용과 주거의 입지 관계에 따라 에너지 절감효과가 다르다는 지적도 있다(Gordon and Richardson, 1989).

자가용에너지 소비에 영향을 미치는 요인들은 크게 도시 형태, 교통기반시설, 대중교통 보급, 그리고 개인 및 가구의 사회·경제적 특성으로 구분할 수 있다.

도시 형태는 주로 밀도와 혼합도로 측정되고 있으며, 밀도는 대부분의 연구에서 자가용에너지 소비를 줄이는 요인으로 나타나는 데 반해 혼합도는 연구에 따라 다소 차이를 보인다. 도시 형태와 더불어 교통기반시설과 자가용을 대체할 수 있는 이동수단을 제공하는 대중교통 보급을 자가용에너지 소비의 중요한 요인으로 보고 있다. 자가용 이용을 줄이기 위해 도로 공급을 줄이고 대중교통 서비스 공급을 늘림으로써 가구의 이동수단을 버스나 지하철 등 대중교통수단으로 바꾸도록 유도한다. 그러나 가구의 자가용 이용은 소득, 가구규모, 휘발유 가격 등 다양한 선택 요인이 혼합되어 작용하기 때문에 효과적인 교통에너지 감소를 위해서는 직주근접·용도혼합과 같은 토지이용 정책과 교통계획, 나아가 에너지 공급구조 개선 등 통합적 정책이 시행되어야 한다는 주장도 있다(Cervero, 1996; Dieleman et al, 2002; Mindali et al, 2004; Owens, 1992).

3. 선행연구와의 차별성

가구의 에너지 소비 관련 연구들은 다양한 측면에서 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들을 도출하였다.

연구 결과를 종합해보면 주택 내 주거에너지 소비의 주된 요인은 주로 주택의 물리적 환경과 가구원의 사회·경제적 특성이 주된 요인이며, 자가용을 이용한 교통에너지 소비에는 자가용 보유와 도로 및 대중교통 보급 등 기반시설이 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

가구의 에너지 소비요인을 도출하기 위해 많은 국·내외 연구들이 이루어졌으나 본 논문은 다음과 같은 두 가지 측면에서 차별성을 갖는다. 첫째, 에너지 소비요인이 에너지 소비량에 영향을 미치는 직접적인 효과와 더불어 간접적인 효과를 함께 분석하며, 둘째, 가구의 주거와 교통에너지 소비를 함께 분석함으로써 가구의 사회·경제적 특성과 물리적 환경이 두 부문에 미치는 영향을 통합적으로 고려한다.

에너지 소비요인을 도출한 대부분의 선행연구는 요인과 에너지 소비 또는 이산화탄소 배출량 간 직접적인 관계를 분석하는 데 목적을 두고 있다. 그러나 에너지 소비요인들은 다른 요인을 변화시킴으로써 에너지 소비량에 간접적인 영향을 미치기 때문에 각 요인이 에너지 소비량에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 직·간접적인 효과를 함께 분석해야 한다. 최근 경로분석(Yun and Steemers, 2011)과 구조방정식 모형(Cervero and Murakami, 2010) 등을 이용한 인과관계 모형을 이용한 연구들이 증가하고 있는 것도 직·간접 효과 분석의 중요성이 높아지고 있기 때문으로 볼 수 있다.

또한 주거와 교통에너지 소비는 가구의 생활양식 변화에 따라 상호 상쇄관계(trade-off)가 있기 때문에 가구의 에너지 소비 변화 원인을 분석하기 위해서는 두 부문을 동시에 고려한 분석이 필요하다. 생활양식의 변화가 주거와 교통에너지 소비를 동시에 변화시키며 한 부분은 증가, 다른 부분은 감소하는 상충된 효과를 나타낼 수 있는 가능성은 꾸준히 제기되었으나 두 부문을 통합적으로 실증분석한 연구는 미흡하

다. 최근 주거와 교통에너지의 변화를 함께 분석하는 연구들이 증가하고 있는데, 연구에 따르면 주거와 교통에너지 소비 패턴이 주거 지역에 따라 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 교외지역일수록 주거에너지보다 교통에너지 비중이 커지고, 도심 지역일수록 주거에너지 비중이 높다(Norman, et al. 2006). 한편 도심으로부터의 거리에 따른 주거와 교통 부문 에너지 소비량 변화에 대한 토론토(Perkins et al. 2009)와 호주(van de Weghe and Kennedy, 2007)의 연구에서는 도심(urban center)과 교외(outer suburb)의 중간지역(inner suburb)에서 이산화탄소 배출량이 가장 적은 띠(band) 지역이 생길 수 있음을 보여주고 있다. 이 중간지역은 도시의 혼잡효과도 없으며 중심부의 편리한 대중교통 서비스를 제공 받을 수 있어 중심부와 외곽의 거리가 멀어도 승용차 이용이 늘어나지 않기 때문이다. 이와 같은 연구 결과는 가구의 에너지 소비 변화 원인을 파악하기 위해서는 주거와 교통 부문을 통합적으로 분석해야 함을 보여준다.

따라서 본 논문은 가구의 주거와 교통에너지를 통합하여 각각의 에너지 소비에 영향을 미치는 에너지 소비요인을 분석하고자 하였다. 또한 구조적 인과관계 모형을 통해 에너지 소비요인이 두 부분의 에너지 소비에 미치는 직·간접적인 영향을 분석하였다.

III. 가구부문의 에너지 소비요인의 선정 및 이산화탄소 배출구조 설정

1. 변수선정

국내 81개 도시 가구 부문의 이산화탄소 배출구조 분석을 위한 변수들을 <표 3>과 같이 선정하였다. 가구

부문의 이산화탄소 배출량은 도시의 에너지원별 소비량을 이용해 산출하였으며, 가구의 에너지 소비는 에너지원을 고려하여 석유·도시가스, 전력, 자가용 에너지 소비로 구분하였다. 도시 가구 간 에너지 소비 차이는 가구의 에너지 소비행태를 파악하는 데 용이한 1인당 배출량을 원단위로 비교하였다.

변수 선정은 우선 국내외 선행연구를 통해 1차적으로 주요 에너지 소비요인을 선정하였다. 국내외 선행연구에서 도출된 모든 요인을 포함하는 경우 모형의 구성이 어렵고 결과의 명확한 해석의 어려움을 고려하여 주요 요인들을 도출하여 포함하였다. 변수의 측정지표는 국내에서 가용한 자료와 도시의 이산화탄소 배출량과의 상관관계 분석을 통해 최종 선정하였다.

도시 유형은 에너지원별 이산화탄소 배출량과 밀도, 고령인구, 주택 유형 도시가스 보급률 등 도시의 물리적 형태 및 인구구성에서 차이를 보인(<부록 3>, <부록 4> 참조) 도시 유형 간 차이를 반영하기 위해 수도권권과 비수도권, 일반시와 도농복합시 더미(dummy) 변수로 설정하였다.⁵⁾ 도시 특성은 밀도, 다양성, 디자인 등이 주로 사용되어 왔다(Ewing and Cervero, 2010). 특히 밀도는 주거 및 교통 부문의 에너지 소비에 영향을 주는 대표적인 도시 형태 지표로 알려져 있다. 일반적으로 밀도의 증가는 대중교통 서비스 보급을 용이하게 하고, 이동거리를 줄이기 때문에 교통에너지 소비를 감소시키고(Holden and Norland, 2005), 아파트와 같은 공동주택의 증가로 주택의 고층화를 유도하여 주거에너지 소비를 감소시키는 것으로 알려져 있다. 도시의 인구밀도는 시가화면적의 인구밀도(순인구밀도) 측정을 위해 주거, 상업, 공업지역 면적 대비 인구수로 측정하였다. 혼합도와 디자인의 경

5) 도농복합시는 행정구역 내 읍·면을 포함하는 도시로 통합창원시와 제주특별자치도 포함 52개 시이며, 일반시는 7개 특광역시를 포함한 29개 시읍(<부록 2> 참조).

표 3_ 이산화탄소 배출구조 모형의 변수와 에너지원별 CO₂ 배출량 간 상관관계

잠재변수	측정 지표	변수	CO ₂ 배출량과의 상관관계			
			합계	석유·도시가스	전력	자가용
1인당 CO ₂ 배출량 (에너지 소비량)		합계 / 석유·도시가스 / 전력 / 자가용				
도시 유형		수도권/비수도권				
		일반시/도농복합시				
도시 특성		순인구밀도	-0.350***	-0.251**	0.234**	-0.219***
주택 특성	주택 노후도	신규주택 비율	-0.10	-0.312***	0.202*	0.320***
	주택 유형	아파트 거주 가구 비율	-0.439***	-0.556***	0.184	0.03
	에너지원	도시가스 사용 비중	-0.368***	-0.332***	0.215*	-0.254***
가구 특성	소득 수준	재정 자립도	-0.302***	-0.367***	0.329***	-0.072
	연령	65세 이상 비율	0.480***	0.582***	-0.268**	0.038
	가구 규모	1인 가구 비율	0.376***	0.533***	-0.394***	-0.067
자가용 이용	자가용 보유	승용차 보유대수	-0.231**	-0.517***	0.230**	0.414***
	자가용 이용	승용차 이용횟수	0.265**	-0.029	-0.119	0.694***
교통 기반시설	도로 공급	1인당 도로 길이	0.391***	0.383***	-0.211*	0.208**
	대중교통	천 명당 정기여객종사자수	-0.371***	-0.258**	0.12	-0.377***

주: 1) 변수 설명 및 자료출처는 <부록 1> 참조.
 2) ***, **, *는 유의수준 0.01, 0.05, 0.1에서 유의함.

우 측정방법과 대상지에 따라 결과의 방향과 해석이 다르기 때문에 본 논문의 변수에는 포함하지 않았다.

주택 특성은 주택의 노후도를 나타내는 신규주택 비율, 주택 유형 특성을 보여주는 아파트 거주 가구 비율, 그리고 주택에서 사용하는 에너지원의 차이를 나타내기 위한 도시가스 사용 비중으로 구성하였으며, 가구 특성은 재정 자립도(소득의 대리변수), 고령 인구 비율, 1인 가구 비율을 변수로 선정하였다. 가구의 자가용 이용행태를 나타내는 자가용 이용 특성은 자가용 보유대수와 이용횟수, 교통기반시설은 도로 길이와 대중교통 보급 수준을 변수로 선정하였다.

소득은 에너지 소비에 가장 중요한 요인이지만 아직까지 국내에서 지역별 가구 소득을 나타낼 수 있는 자료가 구축되어 있지 않기 때문에 재정 자립도를 도시의 소득 수준을 나타내는 대리변수로 사용하였다. 재정 자립도는 지방자치단체의 전체 세입에 대

한 자주 재원(지방세+세외수입)의 비율로 지방자치단체의 재정력을 나타내는 대표적인 지표로 지역경제력 및 경제 활성화와 깊은 관련이 있기 때문에(김성태, 2004) 도시의 경제력 및 소득 수준을 나타내는 적합한 지표로 볼 수 있다.

한편 연령은 도시 인구의 연령구조를 나타내는 65세 이상 인구비율을 지표로 사용하였다. 연령에 따라 주택 내 거주시간이 변하기 때문에 에너지 소비량과 패턴도 변하게 된다. 특히 은퇴 후 고령인구는 은퇴 전과 생활패턴에 큰 차이가 있기 때문에(Schipper et al. 1989) 65세 이상 고령인구 비율을 변수로 선정하였다. 소득, 연령과 함께 최근에는 가구 규모의 감소가 가구의 1인당 에너지 소비에 영향을 미치는 중요한 요인으로 주목 받고 있으며, 특히 1인 가구는 가구 규모가 큰 경우 여러 사람이 공유할 수 있는 에너지를 혼자 소비하기 때문에 1인당 에너지 소비를 증가

시킨다(Williams, 2007).

가구의 사회·경제적 특성과 함께 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 중요한 요인은 거주하고 있는 주택, 자가용, 기반시설과 같은 물리적 환경 요인들이다. 주거에너지 소비에 영향을 미치는 물리적 환경은 난방설비, 건축 재료와 주택 유형, 면적 등 주택 특성을 들 수 있다.

특히 주택의 열효율에 큰 영향을 미치는 주택 유형, 면적, 노후도 등이 주거에너지 소비에 영향력이 큰 요인으로 알려져 있다(Holden and Norland, 2005). 주택의 노후도를 측정하기 위해 에너지 열효율에 영향을 미치는 단열기준 변화를 고려하였으며, 단열재 규정이 강화된 2003년을 기준으로 2005~2010년 건축된 주택의 비율(통계청, 2010)을 도시의 주택 노후도 지표로 선정하였다. 주택 유형은 우리나라 주택 유형의 약 절반을 차지하고 있는 아파트의 비율을 도시의 주택 유형 지표로 선정하였다.

또한 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량은 어떤 에너지원을 쓰는가에 따라 큰 차이를 보인다. 주거에너지에서 가장 큰 에너지원의 차이는 도시가스다. 따라서 석유와 도시가스 소비량 합계에서 도시가스가 사용하는 비중을 에너지원의 차이 지표로 선정하였다. 석유와 도시가스는 주택 내 에너지 소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 난방연료로 주로 사용되기 때문에⁶⁾ 도시가스 비중은 가구의 난방에너지 중 도시가스가 차지하는 비중이면서, 도시가스가 석유로 대체된 비율을 의미한다.

가구의 자가용에너지 소비는 주거 부문과 달리 주택 외부에서 자가용이라는 이동수단을 통해 소비되는 에너지다. 따라서 가구의 자가용 이용행태와 이동을 위한 도로, 교차로, 대중교통, 주차장과 같은 교통 기반시설이 가장 중요한 두 요인이라고 할 수 있다

(Lin and Yang, 2009).

우선 가구의 자가용 이용행태는 자가용의 보유와 이용횟수로 볼 수 있으며 보유와 이용횟수가 많을수록 가구의 교통 부문 에너지 소비는 늘어난다. 자가용 보유는 자가용에 대한 선호를, 이용횟수는 자가용을 이용하는 교통수단 선택을 나타내며, 각각 가구당 자가용 보유대수와 1일 자가용 이용횟수(통계청, 2010)를 지표로 선정하였다.

한편 가구의 자가용 이용에 영향을 미치는 교통 기반시설은 인구 1인당 도로 길이(m)와 대중교통 보급 수준을 나타내는 인구 천 명당 정기여객 종사자수를 지표로 선정하였다. 인구 1인당 도로 길이는 자가용 이용을 위한 도로의 공급 수준을 나타내며 도로 길이가 길수록 교통 부문 에너지 소비량은 증가한다(Kenworthy and Laube, 1996). 반면 대중교통의 보급은 자가용의 대체 이동수단으로 제공함으로써 자가용의 이용을 감소시키는 효과를 갖는다(Cervero and Murakami, 2010). 그러나 아직 우리나라에서는 시·군별 대중교통 보급수준을 나타낼 수 있는 지표가 없기 때문에 본 논문에서는 전국사업체조사의 세분류 중 '도시정기육상여객 운송업'의 인구 천 명당 종사자수를 대중교통 보급수준을 측정하는 지표로 선정하였다. 이 항목에는 도시의 대표적인 대중교통 수단인 지하철과 버스를 나타내는 도시철도 운송업, 시내 버스 운송업, 기타 도시정기육상여객운송이 포함되어 있다. 따라서 인구 천 명당 도시정기육상여객운송업 종사자수가 많을수록 상대적으로 대중교통 보급 수준이 높은 도시라고 할 수 있다.

주택과 교통기반시설은 각각 주거와 자가용 이용에 의한 이산화탄소 배출에 큰 영향을 미치는 물리적 환경 요인들이다. 한편 두 물리적 요인은 도시를 구성하는 요소로서 도시의 형태, 공간 구조, 입지와 같은

6) 가정용 도시가스의 약 89.6%가 난방용으로 사용됨(한국도시가스협회, 2010).

표 4_ 도시 유형 간 에너지원별 이산화탄소 배출량 차이

구분		수도권과 비수도권 도시 간 차이			일반시와 도농복합시 간 차이			
		수도권	비수도권	평균차이 검정	일반시	도농복합시	평균차이 검정	
지역수		29	52		29	52		
이산화탄소 배출량	가구 총 배출량	2,107	2,244	2.36**	2,024	2,290	4.51***	
	주거	합계	1,252	1,360	2.21**	1,238	1,368	2.66**
		석유·도시가스	654	789	2.70***	653	789	2.74***
		전력	597	572	-3.41***	585	579	-0.80
	자가용	855	884	1.07	786	922	6.27***	

주: 1) 평균차이 검정은 수도권과 비수도권, 일반시와 도농복합시 집단 간 평균에 대한 t-검정 통계량임.
2) **, *** 유의수준 0.05, 0.01에서 유의함.

도시 특성에 영향을 받는다. 이는 가구의 주거와 자가용 에너지 소비 역시 도시의 사회·물리적 특성에 간접적인 영향을 받는다는 것을 의미한다(Perkins et al. 2009; van de Weghe and Kennedy. 2007).

선정된 측정지표와 에너지원별 이산화탄소 배출량 간의 상관관계를 보면 주로 주택 특성은 난방에너지로 사용되는 석유·도시가스와 유의한 상관관계를 보이며 전력은 가구 특성, 자가용에 의한 이산화탄소 배출량은 자가용의 이용과 교통기반시설과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

우선 도시 특성으로 인구밀도를 보면 전력과는 양(+)의 상관관계를 보이나 석유·도시가스와 자가용에 의한 이산화탄소 배출량과는 음(-)의 관계를 나타내 종합적으로는 가구의 이산화탄소 배출량과는 음(-)의 관계로 압축도시가 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 감소시키는 요인임을 나타내고 있다.

가구 특성에서 재정자립도는 석유·도시가스와는 음(-)의 관계를 보이고 전력과는 양(+)의 상관관계를 보였으며, 65세 이상 인구비율과 1인 가구 비율은 반대의 관계를 나타냈다. 고소득자일수록 전력기기 보유대수의 증가로 전력 소비는 증가하고 효율이 좋은 주택에 거주하면서 석유·도시가스 소비는 줄어들 수 있음을 보여준다. 65세 이상 인구비율은 주택 내 거주시간의 증가가 에너지원별 소비에 다른 영

향을 미칠 수 있다는 점을 보이고 있으며, 1인 가구 비율의 증가는 에너지의 규모의 경제 효과에 의해 가구 원수가 작을수록 에너지 소비가 증가하는 국내외 선행연구의 결과를 보여주고 있다.

자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량에는 가구의 자가용 보유와 이용이 양(+)의 상관관계를 나타내고 있다. 또한 가구 특성과 유의한 관계를 나타내지 않는 점을 고려하면 소득 및 연령 등 가구 특성이 자가용 에너지 소비에 직접적인 관계보다는 가구 특성에 따른 자가용 이용 패턴의 변화가 이산화탄소 배출의 직접적인 요인일 것으로 예상할 수 있다.

도시 유형은 더미 변수로 이산화탄소 배출량과의 상관관계를 나타내지 않고 도시 유형 간 에너지원별 이산화탄소 배출량을 평균 비교하였다. <표 4>를 보면 수도권 내 도시들이 비수도권 도시에 비해 1인당 이산화탄소 배출량이 적고, 일반시가 도농복합시에 비해 적다. 에너지원별로 보면 수도권 도시와 일반시가 비수도권 도시와 도농복합시에 비해 석유·도시가스와 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량이 적고 전력에 의한 이산화탄소 배출량이 많은 것으로 나타난다. 각 집단 간 도시의 입지, 공간구조, 그리고 주택 및 도시가스 공급률에서 차이가 있기 때문으로 유추해볼 수 있다.

2. 이산화탄소 배출구조

국내의 선행연구를 통해 도출된 가구의 주거와 교통 에너지 소비에 영향을 미치는 주요 에너지 소비요인과 요인 간 상호작용을 토대로 <그림 1>과 같이 가구 부문의 이산화탄소 배출구조 모형을 설정하였다. 가구의 에너지 소비와 이산화탄소의 배출에 영향을 미치는 다양한 요인이 있으며, 각 요인이 직간접적으로 상호 영향을 미치고 있다. 그러나 요인 간 영향관계를 모두 포함한 구조를 설정하는 경우 모형의 구성과 해석에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 에너지 소비요인 간 주요 영향관계를 토대로 이산화탄소 배출구조를 구성하였다.

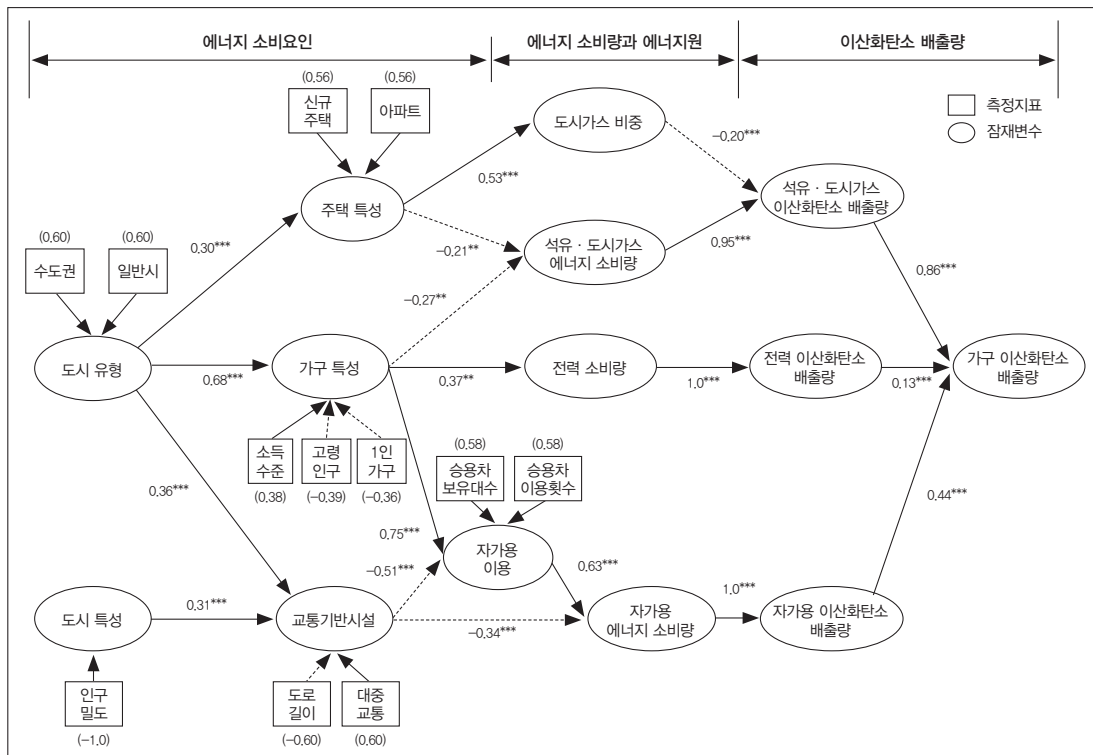
구축된 이산화탄소 배출구조는 크게 에너지 소비

구조와 에너지원별 이산화탄소 배출량으로 나누어지며, 에너지 소비구조는 에너지 소비요인과 에너지 소비량 및 에너지원의 두 부분으로 나누어볼 수 있다. <그림 1>의 좌측에 있는 에너지 소비요인들이 가구의 에너지원별 에너지 소비량과 에너지원의 변화를 이끌어 최종적으로 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 구조다.

이산화탄소 배출구조에서 가장 중요한 부분은 좌측의 에너지 소비요인 간 인과관계다. 에너지 소비요인의 인과관계는 선행연구의 결과를 바탕으로 가구의 에너지 소비량에 직접적인 영향을 미치는 요인과 간접적인 요인을 구분하여 구축하였다.

우선 에너지원별 직접적인 에너지 소비요인에서 석유·도시가스는 주택과 가구 특성, 전력 소비량은

그림 1_ 가구 부문의 이산화탄소 배출구조 모형과 추정 결과



주: 1) 괄호는 각 측정지표의 가중치임.
2) 경로계수는 **, *** 유의수준 0.05, 0.01에서 유의함.

가구 특성, 자가용 에너지 소비량은 승용차의 보유와 이용횟수로 설정하였다. 석유·도시가스 에너지 소비량은 주로 난방에너지로 사용되며 주택의 열효율에 영향을 미치는 주택의 물리적 특성과 거주자의 사회·경제적 특성이 가장 직접적이며 영향이 큰 요인이다(Druckman and Jackson, 2008; Wende et al, 2010). 한편 주거에너지의 주요한 에너지원으로 도시가스는 거주하고 있는 주택 유형과 공급 여부에 따라 공급되기 때문에 주택 특성을 주요 요인으로 설정하였다. 도시가스 공급여부는 가구의 임의적 선택보다는 주택을 선택하면서 고려하는 선택사항이기 때문에 가구 특성은 도시가스 비중의 직접적인 요인보다는 주택 선택의 요인으로 볼 수 있다. 따라서 이산화탄소 배출구조에서 가구 특성은 도시가스 비중의 직접적인 소비 요인으로 설정하지 않았다. 또한 가구 특성에 따른 주택의 선택은 주택의 입지와 특성을 고려한 의사결정 과정에 대한 고려가 필요하나 각 에너지원별 주요 소비 요인의 영향력을 분석하는 본 논문의 목적과 연구 범위에서 벗어나기 때문에 가구 특성과 주택 특성 간 인과관계는 설정하지 않았다.

한편 전력 소비량은 거주자의 전력기기 사용 행태가 가장 직접적인 소비 요인이기 때문에 가구 특성을 전력 소비량의 직접적인 소비 요인으로 설정하였다(김유란 외, 2011; 원두환, 2012; Gram-Hanssen, 2009; Yun and Steemer, 2011). 가구의 전력 소비는 가전기기뿐만 아니라 조명기기의 수와 효율과 같은 주택 설비와 관계가 있으나, 조명의 전력 사용량이 분리되어 측정되지 않고 가구 특성에 따른 주택 내 거주 시간, 기기의 보유 및 이용이 전력 사용량의 주요 증가 요인이기 때문에 주택 특성의 영향은 본 논문에서는 설정하지 않았다. 그러나 조명에 의한 전력 소비량 자료가 구축이 되고 연구 목적에 따라서는 주택 특성을 가구의 전력 소비 요인으로 고려할 수 있을 것이다.

자가용에너지 소비는 자가용의 이용이 가장 직접적인 에너지 소비요인이기 때문에 가구의 자가용 보유대수와 이용횟수를 자가용에너지 소비의 직접적인 소비 요인으로 설정하였다(김민주 외, 2010; 이경환, 2010; Grazi et al, 2008; Mindali et al, 2004, Wei et al, 2007). 한편 주택 특성 역시 자가용의 보유와 이용에 영향을 미치는 요인으로 볼 수 있으나 자가용 이용과 주택의 유형 및 노후도와 인과관계가 확실치 않기 때문에 자가용의 이용에 영향을 미치는 주요 요인인 자가용 이용 특성만을 직접 요인으로 설정하였다. 또한 교통기반시설은 이동 수단 선택과 자가용 이용률에 영향을 미치는 것으로 나타나 자가용 이용에 영향을 미치는 요인으로 설정하였다(신상영, 2004; Cervero and Murakami, 2010; Lin and Yang, 2009)

한편 가구의 에너지 소비에 영향을 미치는 간접 요인은 주로 도시 환경 요인으로 볼 수 있으며 이는 직접 요인보다 큰 단위(scale)에서 장기적인 변화를 이끄는 요인들이다. 도시 환경 요인은 다양한 측면에서 측정이 가능하나 본 논문에서는 도시 유형, 도시 특성(인구밀도), 교통기반시설을 지표로 선정하였다. 도시 유형은 도시의 입지, 공간구조 등 물리적 환경과 규제·정책 등 도시 간 차이를 나타내며 가구의 에너지 소비에 간접적이며 장기적인 변화를 이끄는 요인이다(Glaeser and Kahn, 2010; Hitchcock, 1993). 도시 환경의 차이는 다양한 측면에서 측정이 가능하나 에너지 소비의 주요 요인을 통해 이산화탄소 배출구조를 분석하고자 하는 본 논문의 목적에 맞추어 도시를 도시 환경에 큰 차이가 있는 4개 집단(수도권, 비수도권, 일반시, 도농복합시)으로 나누어 분석모형을 구축하였다. 이와 같은 도시 환경은 주택, 인구, 기반시설 등 도시 구성요소의 입지와 공급에 중요한 환경으로 가구의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 장기적이지만 간접적인 요인으로 볼 수 있다.

본 논문에서 도출된 주요 에너지 소비요인들은 도

시를 구성하는 요소들로 상호 밀접한 관계를 가지고 있다. 그러나 본 논문은 각 에너지원별 소비에 영향을 미치는 주요 요인과 요인 간 주된 인과관계를 토대로 구성되었기 때문에 요인 간 관계를 모두 포함하여 설정되지 않았다. 즉 본 논문의 이산화탄소 배출 구조에서 포함되지 않은 요인과 인과관계는 에너지원별 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인과 인과관계가 없는 것은 아니며 향후 요인 간 인과관계의 검증을 통해 확장된 이산화탄소 배출구조를 설정할 수 있을 것이다.

3. 분석 방법

본 논문에서 구축한 이산화탄소 배출구조를 분석하기 위해 다양한 요인들의 직·간접 영향을 분석하는데 용이한 구조방정식을 분석 모형으로 선정하였다. 구조방정식은 다수의 지표들을 묶어 유사한 몇 개의 잠재변수로 통합한 뒤, 잠재변수 간 인과관계를 분석하기 때문에 많은 수의 요인을 포함해야 하는 경우에 유용한 분석 방법으로 알려져 있다(이희연·노승철, 2012; Esposito Vinzi et al. 2010).

구조방정식은 크게 공분산 기반 구조방정식(Covariance Based-Structural Equation Model: CB-SEM)과 PLS-구조방정식(Partial Least Square: PLS-SEM)으로 나뉜다. 만약 연구 모형이 강한 선형적 이론을 바탕으로 하고 있으며, 이를 검증하고자 하는 경우 모형의 전체적인 적합도 지표가 구축되어 있는 CB-SEM이 적절하지만 연구자가 새로운 구조를 탐색하거나, 예측력에 초점이 두고 있다면 PLS-SEM이 더 적절하다.

본 논문에서 구축한 가구의 이산화탄소 배출구조는 확실한 이론적 모형이 정립되어 있지 않고 선행연구가 충분히 축적되어 있지 않기 때문에 모형의 검증보다 다양한 인과관계를 설정하고 검증해야 한다. 또

한 모형의 추정 결과를 이용하여 다양한 에너지 소비 요인의 변화가 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 예측하기 위해 두 모형 중 잠재변수에 대한 설명과 예측을 목적으로 하는 PLS-SEM이 더 적합한 것으로 판단하였다. 또한 국내 81개 도시를 사례로 CB-SEM 모형을 통해 신뢰성 있는 결과를 추정하기에는 표본이 작기 때문에 오차에 대한 가정이 유연하고 표본의 수에 제약이 없는 PLS-SEM 모형이 더 적합하다고 볼 수 있다. 분석은 통계패키지 WarpPLS 3.0(Kock, 2012)을 사용하였으며, 계수의 유의성의 경우 검정은 표본의 수가 100개 이하로 적고, 이상치(outlier)가 있는 표본에서도 안정적 유의도를 얻을 수 있는(Kock, 2012) Jackknifing 방법을 이용하였다.

IV. 이산화탄소 배출구조 추정 결과

1. 잠재변수의 해석

국내 81개 도시 가구 부문의 이산화탄소 배출구조를 분석한 결과는 <그림 1>과 같다. 직사각형은 가구의 에너지 소비요인으로 선정한 변수(측정지표)들이며, 타원은 추정된 잠재변수를 의미한다.

에너지 소비요인들이 에너지 소비량과 에너지원에 미치는 영향을 해석하기 위해서 우선 측정지표들로 추정된 잠재변수들의 의미를 해석해야 한다. 특히 둘 이상의 측정지표로 추정된 잠재변수는 복합적인 의미를 갖고 있기 때문에 해당 잠재변수의 의미를 명확히 해야 각 잠재변수가 종속변수에 미치는 영향을 해석할 수 있다.

잠재변수들의 의미 해석은 각 측정지표가 자신이 속한 잠재변수에 미치는 영향력(가중치)의 부호와 크기에 따른다. 도시 유형을 보면 측정지표 중 수도권 더미변수, 일반 시 더미변수의 가중치가 모두 양(+)의 부호를 보이고 있다. 이는 두 더미변수를 통해 추

표 5_ 에너지 소비요인들이 에너지원별 소비에 미치는 직·간접적 영향력 비교

구분		도시 유형	도시 특성	주택 특성	가구 특성	교통기반	자가용 이용
		수도권/ 일반시	고밀도시	신규주택/ 아파트	고소득/젊은층/ 다인가구	대중교통 보급	
석유· 도시가스 소비	직접			-0.214**	-0.268**		
	간접	-0.246***					
	총효과	-0.246***		-0.214**	-0.268**		
전력 소비	직접				0.372***		
	간접	0.252***					
	총효과	0.252***			0.372***		
자가용 에너지 소비	직접					-0.337***	0.633***
	간접	0.081	-0.208**		0.472***	-0.325***	
	총효과	0.081	-0.208**		0.472***	-0.662***	0.633***

주: *, **, ***은 유의수준 0.1, 0.05, 0.01에서 유의함.

정된 도시 유형 잠재변수의 값(score)은 비수도권 도시에 비해 수도권 내 도시와 도농복합시에 비해 일반시가 더 높다. 따라서 도시 유형 잠재변수는 수도권 도시와 일반시의 특성을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 마찬가지로 주택 특성 잠재변수는 ‘신규주택과 아파트’의 특성을 나타내고 있으며, 가구 특성은 도시의 소득 수준이 높으면서, 65세 이상 고령층보다 젊은 층의 비율이 높고, 1인가구보다 2인 이상의 다인가구가 많은 지역을 의미한다. 도시의 교통기반시설 수준을 나타내는 교통기반시설 잠재변수는 1인당 도로 길이가 짧으면서 대중교통 서비스 공급 수준은 높은 ‘대중교통 지향형’ 특성을 나타내며, 자가용 이용 잠재변수는 승용차 보유수준이 높으면서, 이용도가 높은 ‘승용차 선호’ 특성을 나타낸다고 볼 수 있다.

2. 요인들의 직간접 영향력 분석

에너지 소비요인들은 <그림 1>과 같이 가구의 에너지원별 소비량에 다양한 경로를 통해 영향을 미치고 있으며 각 요인이 에너지원별 소비에 미치는 직간접 효과는 <표 5>와 같다.

우선 주택 특성(신규주택과 아파트 비율)은 가구의 석유·도시가스 소비량을 줄이는 직접적인 요인으로 나타났다. 즉 최근에 지어진 주택과 공동주택이 노후 주택과 그 외 주택 유형에 비해 열효율이 높기 때문에 에너지 소비량이 적다는 것을 의미한다. 한편 교통기반시설과 자가용 이용 변수는 자가용에너지 소비에 대해 각각 감소와 증가효과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 도로 공급 감소와 대중교통 보급이 가구의 자가용 보유와 이용횟수를 감소시킴으로써 자가용에너지 소비를 줄일 수 있음을 보여준다. 또한 도시 밀도는 교통 기반시설에 양(+)의 효과를 보여 압축도시가 적은 도로와 높은 대중교통 보급을 통해 자가용에너지 소비를 줄이는 도시 환경임을 알 수 있다.

모든 에너지원에 직간접 영향을 미치고 있는 가구 특성은 직접적으로 석유·도시가스 소비량을 줄이지만 전력 소비의 직접적인 증가 요인인 반면 자가용 이용 에너지 소비에는 간접적인 증가 효과를 나타냈다. 이는 소득이 높고, 젊은 층이 많으며, 2인 이상 가구가 많은 도시에서는 다른 도시에 비해 석유·도시가스 소비량은 적으나 전력 및 자가용에너지 소비는 많다는 것을 의미한다.

한편, 도시 유형(수도권, 일반시)은 각 에너지원별 소비량에 간접적인 영향을 미치고 있다. 도시 유형은 유사한 특성을 가진 도시 간 비교이기 때문에 수도권과 일반시 가구가 각각 비수도권과 동농복합시에 비해 석유·도시가스 소비량은 적고, 전력 소비는 적음을 의미한다. 이는 도시 유형에 따라 주택 특성, 가구의 사회·경제적 특성, 교통기반시설 보급수준이 다르기 때문에 각 에너지원별 소비량이 다르게 나타난다고 볼 수 있다.

에너지 소비요인들이 에너지원별 소비량에 미치는 영향에서 주목할 점은 요인들이 에너지원에 따라 상충된 영향을 미치고 있는 점이다. 즉 도시 특성, 주택 특성, 교통기반시설, 자가용 이용과 같이 하나의 에너지원에만 영향을 미치는 요인도 있지만, 도시 유형, 가구 특성은 세 에너지원에 모두 영향을 미치며 그 효과가 각각 다르다. 도시 유형은 석유·도시가스 소비량은 감소시키지만 전력 소비량은 증가시키고, 가구 특성은 석유·도시가스 소비량은 감소시키지만 전력과 교통에너지 소비량은 증가시킨다. 이는 도시의 사회·경제적 변화가 가구의 에너지 소비에 미치는 영향을 예측하기 어려우며, 가구의 에너지는 세분화해서 분석해야 가구의 에너지 변화 요인을 파악할 수 있음을 나타낸다.

한편, 도시 유형이 자가용 에너지 소비량에 미치는 영향은 양(+)의 부호이나 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 실제 도시 유형이 자가용의 에너지 소비량에 큰 영향을 미치지 못하는 것이 아니라 증가 효과와 감소효과를 모두 갖고 있기 때문이다. <그림 1>을 보면 도시 유형은 자가용 에너지 소비량을 증가시키는 간접효과(도시 유형→가구 특성→자가용 이용→자가용 에너지 소비량)와 감소시키는 간접효과(도시 유형→교통기반시설→자가용에너지 소비량)를 모두 갖고 있기 때문에 증가와 감소효과가 상쇄되어 소비량에 큰 변화를 미치지 못하는 것이다.

표 6_ 이산화탄소 배출량에 대한 에너지 소비요인들의 효과지수

구분	이산화탄소 배출		
	석유·도시가스	전력	자가용
도시 유형	0.093	0.067	0.034
도시 특성			0.079
주택 특성	0.152		
가구 특성	0.142	0.138	0.009
교통기반시설			0.23
자가용 이용			0.404
도시가스 비중	0.068		

에너지 소비요인들이 에너지원별 이산화탄소 배출량에 미치는 영향력의 크기를 비교하기 위해 PLS-SEM에서는 효과지수(effect sizes coefficient)라는 지표를 사용한다. 효과지수는 내생잠재변수의 결정계수(R^2)에 기여한 정도를 나타내며(Gotz et al, 2010), 효과지수를 통해 에너지원별 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 주요 요인을 알 수 있다.

각 에너지 소비요인들이 이산화탄소 배출량에 미치는 효과지수는 <표 6>과 같다. 우선 석유와 도시가스의 이산화탄소 배출량에 가장 큰 영향을 미치고 있는 요인은 주택 특성이며, 가구 특성, 도시 유형, 도시가스 비중의 순이다. 이는 석유·도시가스가 주택에서 주로 난방에너지로 사용되기 때문에 주택의 물리적 성능에 큰 영향을 받으며, 더구나 주택에 따라 공급되는 에너지원이 다르기 때문에 가장 큰 영향력을 가진 요인으로 볼 수 있다.

전력 소비에 의한 이산화탄소 배출량에는 가구 특성이 매우 큰 영향력을 보이고 있으며, 이는 전력 기기의 보유와 사용이 주택의 물리적 특성보다 소득과 연령 등 가구의 사회·경제적 특성이 가장 큰 요인임을 나타낸다. 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량에 대한 효과지수는 가구의 자가용 이용이 가장 큰 영향력을 미치고, 이어 교통기반시설, 도시 유형, 도시 특성, 가구 특성의 영향력이 큰 것으로 나타났다. 가

구 특성은 자가용 이용에 따른 이산화탄소 배출량에 미치는 효과가 다른 요인에 비해 매우 작게 나타났으나, 가구 특성이 효과지수가 가장 큰 자가용 이용을 증가시키는 직접 요인임을 감안한다면 자가용의 이산화탄소 배출량에 가구 특성의 영향력 역시 매우 크다고 볼 수 있다.

3. 이산화탄소 배출량의 변화 예측

PLS-SEM의 경로계수는 일반선형회귀분석의 회귀계수와 같기 때문에 이를 이용하여 각 에너지 소비 요인들이 이산화탄소 배출량의 증감에 미치는 영향을 예측할 수 있다(〈표 7〉 참조). 단 경로계수는 일반선형회귀분석의 표준화 회귀계수와 같기 때문에 에너지 소비요인의 영향력은 각 요인이 각각의 1표준편차만큼 증가했을 때 이산화탄소 배출량 증감으로 해석해야 한다.

예측 결과 인구밀도, 아파트 비율, 신규주택 비율 등 9개 변수는 이산화탄소 배출량을 감소시키고, 재

정 자립도, 1인당 도로길이, 승용차 보유대수와 이용횟수 등 4개 지표는 배출량을 증가시키는 것으로 나타났다. 가장 큰 감소량을 보인 지표는 도시가스 비중으로 석유·도시가스 소비량 중 도시가스가 차지하는 비중이 약 28.9%p 증가하면 가구의 1인당 이산화탄소 배출량이 연간 약 45.4(kgCO₂) 감소하는 것으로 나타났다. 이는 탄소 배출량이 적은 에너지로의 전환이 이산화탄소 배출량 감소에 가장 큰 영향을 줄 수 있음을 보여준다.

이러 대중교통 종사자수, 아파트 비율, 신규주택 비율 증가에 따른 이산화탄소 배출량 감소가 큰 것으로 나타났다. 주택 특성 요인을 보면 아파트 비율과 신규주택 비율이 각각 13.8%p, 8%p 증가하게 되면 1인당 연간 약 39(kgCO₂) 만큼 이산화탄소 배출량을 감소시킨다. 한편 자가용의 보유와 이용은 가구의 이산화탄소 배출량을 증가시키는 가장 큰 요인으로 승용차 보유대수가 0.1대 증가하거나 1일 승용차 이용횟수가 0.08회 증가하면 41.5(kgCO₂)의 이산화탄소가 증가하게 된다.

표 7_ 측정 지표별 이산화탄소 배출량 증감 예측 결과

잠재변수	측정지표	변화량 (표준편차)	이산화탄소 증감(kgCO ₂ /인·yr)				합계
			가구 합계	석유 도시가스	전력	자가용	
도시 유형	수도권	0.482	-24.6	-35.2	5.1	5.5	-49.2
	일반시	0.482	-24.6	-35.2	5.1	5.5	
도시 특성	인구밀도	6,637	-23.7			-23.7	-23.7
주택 특성	아파트 비율	13.8	-39.0	-39.0			-78.0
	신규주택 비율	8.0	-39.0	-39.0			
가구 특성	재정 자립도	17.5	3.8	-21.7	4.9	20.6	-3.6
	65세 이상 인구 비율	5.6	-3.9	22.1	-4.9	-21.0	
	1인 가구 비율	4.8	-3.5	20.3	-4.5	-19.3	
교통기반시설	대중교통 종사자수	1.0	-45.0			-45.0	0
	1인당 도로길이	2.1	45.0			45.0	
자동차 이용	승용차 보유대수	0.1	41.6			41.6	83.1
	승용차 이용횟수	0.08	41.6			41.6	
도시가스 비중	도시가스 비중	28.9	-45.4	-45.4			-45.4

한편 가구 특성, 교통기반시설은 잠재변수 내 변수들이 서로 상충된 효과를 보이고 있다. 가구 특성을 보면 65세 이상 인구 비율이 약 5.6%p 증가할 때 이산화탄소 배출량이 3.9(kgCO₂) 증가하고, 1인 가구 비율의 4.8%p 증가는 약 3.5(kgCO₂)의 배출량을 감소시킨다. 그러나 재정자립도의 17.5%p 증가는 3.8(kgCO₂) 증가시킨다. 65세 이상 인구 비율과 1인 가구 비율은 전력 소비와 자가용 이용에 따른 배출량은 감소시키지만 석유·도시가스 소비에 의한 배출량이 증가하는 효과를 보였고, 재정 자립도는 두 측정 지표와는 반대의 효과를 나타내 하나의 요인이 각 에너지원별 배출량에 미치는 효과가 다를 수 있다. 마찬가지로 교통기반시설에서는 인구 천 명당 1명의 대중교통 종사자수가 늘어나면 약 45(kgCO₂)의 이산화탄소가 감소하지만, 동시에 1인당 도로길이가 2.1m 증가하면 동일한 양만큼의 이산화탄소가 배출되어 교통기반시설에 의한 이산화탄소 배출효과는 상쇄되는 것으로 나타났다.

이와 같이 지표별 이산화탄소 배출량에 미치는 효과는 그 방향과 크기가 다르다. 그러나 각 변수의 변화(1표준편차의 증가)를 위한 사회적 비용이 다르기 때문에 가장 효율적인 이산화탄소 감축정책을 위해서는 그에 대한 고려가 필요하다. 예를 들어 아파트 비율과 신규주택 비율은 각각 39(kgCO₂)의 이산화탄소를 감소시키지만 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 아파트 비율 증가와 신규주택 비율 증가 중 어느 것이 더 효율적인 방안인가에 대한 판단은 그에 따른 사회적 비용을 포함하여 판단해야 한다.

V. 결론 및 시사점

이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 다양한 학문 분야에서 에너지 소비요인을 도출하는 연구들이 이루어져왔다. 그러나 도시를 이루는 각 요인은 상호 영향을

주고받고 있기 때문에 한 요인의 변화는 다른 요인에 영향을 미치게 된다. 이와 같은 점에서 본 논문은 요인 간 상호관계를 고려한 이산화탄소 배출구조를 구축하고 국내 81개 도시의 가구 부문 에너지 소비량 자료를 토대로 이산화탄소 배출구조를 분석하였다.

분석 결과 다양한 에너지 소비요인들은 서로 영향을 주고받으며 직·간접적으로 에너지원별 소비와 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 도시의 다양한 사회적 변화들이 가구 부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 예측하기 매우 어려우며 에너지 소비에 의한 이산화탄소 배출량 변화 분석을 위해 통합적이며 구조적인 접근방법이 필요하다는 것을 보여준다. 특히 그동안 가구의 에너지 소비를 개인의 의사결정 과정으로 한정시킴으로써 주변 환경이 가구의 에너지 소비에 미치는 영향에 대한 고려가 미흡하여 정책적 실용성이 부족하다는 지적을 (Jiang and Hardee, 2011) 감안하면 도시의 이산화탄소 배출 감축 정책을 위해서는 통합적 접근방법의 연구가 더욱 필요한 시점이다.

본 논문의 의의는 다음과 같다. 첫째, 그동안 주택 내 주거에너지로 한정되어오던 가구 부문의 에너지 소비에 대한 관점을 확장하여 자가용에너지까지 포괄함으로써 가구 부문의 에너지 소비에 관점을 확장하고 통합된 정보를 제공했다는 데 의의를 찾을 수 있다. 가구의 활동이 한정된 시간과 자원 내에서 이루어진다는 점을 고려하면, 주택 외부 활동의 증가는 주거 에너지 소비를 감소시키고 자가용에너지 소비를 증가시킬 수 있는 것과 같이 두 부문의 에너지 소비는 독립적이지 않기 때문에 가구의 에너지 소비요인과 변화를 파악하기 위해서는 주택 내외에서 소비하는 에너지의 변화를 함께 고려해야 한다.

둘째, 에너지 소비요인들이 가구 부문의 에너지 소비에 미치는 영향을 에너지원별로 구분하고 각 요인들이 에너지원별 소비에 미치는 직간접 영향을 동

시에 분석하였다. 하나의 에너지 소비요인이 에너지 원별 소비에 미치는 영향이 다르기 때문에 각 요인들이 가구 부문의 에너지 소비와 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 분석하고 이산화탄소 배출량 변화를 예측하기 위해서는 에너지 소비를 용도와 에너지원별로 세분화된 분석이 필요하다. 또한 직접적인 효과와 간접적인 효과가 서로 상충될 수 있기 때문에 한 요인의 변화가 가구의 전체적인 이산화탄소 배출량에 미치는 효과를 파악하기 위해서는 직·간접효과를 함께 고려해야 한다.

셋째, 다양한 요인이 가구 부문의 이산화탄소 배출에 미치는 영향력을 분석하는 방법으로 PLS-SEM을 소개하고, 국내 자료를 이용한 실증 분석을 통해 그 유용성을 검증하였다. 최근 가구 부문의 에너지 소비구조와 메커니즘에 초점을 두고 있는 연구들은 가구, 주택, 도시 등 다양한 수준의 요인 간 상호관계를 통합적으로 분석할 수 있는 방법론을 모색하고 있다. 토지이용-교통 통합모형 등과 같은 시뮬레이션 모형들이 개발되었으나 분석을 위해 매우 세분화되고 마이크로(micro)한 자료가 필요하기 때문에 자료의 구축과 결과 정산이 매우 어려워 활용이 제한적이다. 본 논문에서 활용한 PLS-SEM은 다수의 요인 간 인과관계를 분석하면서도 유연한 가정을 통해 확장이 가능하기 때문에 향후 자료 구축을 통해 좀 더 상세하게 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문은 분석 결과를 통해 에너지 소비요인의 변화에 따른 이산화탄소 배출량 증감을 예측하였다. 예측 결과 에너지 소비요인들은 에너지원에 따라 상충된 영향을 미칠 수 있으며, 도시 형태 또한 주요한 간접 요인임을 확인하였다. 이는 도시의 이산화탄소 배출량 감축정책이 통합적이며 장기적인 정책으로 추진되어야 함을 보여 준다. 가구의 이산화탄소 배출량의 변화를 예측하고 감축하기 위해서는 주택 개량, 대중교통 보급 등 물리적 개선뿐만 아니라 도시

의 인구 및 가구의 변화에 대응한 장기계획이 수립되어야 한다. 또한 도시 형태와 같은 간접 요인은 주택, 가구, 기반시설 등을 통해 에너지 소비와 이산화탄소 배출량에 영향을 주기 때문에 저탄소 도시를 위한 도시 비전 제시와 함께 그에 맞는 주택 및 기반시설 공급 정책이 통합된 정책이 필요하다.

그러나 본 논문은 가구의 에너지 소비 행태를 파악할 수 있는 미시적 자료의 한계로 인해 가구 부문의 에너지 소비 행태를 상세히 분석하지 못한 한계를 가지고 있다. 가구의 에너지는 가구원들의 일상 활동에 의해 소비되기 때문에 에너지 소비요인을 도출하고 그 변화를 예측하기 위해서는 개인의 에너지 소비 행태에 대한 상세한 분석이 필요하나 자료의 한계로 도시를 단위로 가구 부문의 평균 차이를 비교하였다. 또한 에너지 소비요인 간 상호작용이 가구의 에너지 소비에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 시계열 자료를 이용한 동태적 변화를 파악해야 하나 시계열 자료의 부족으로 이루어지지 못하였다. 특히 자가용 에너지 소비는 국가교통조사를 통해 전국단위의 읍면동 수준에서 목적별/수단별 통행 자료가 시계열자료로 구축되어 있기 때문에 향후 자가용 에너지 소비의 동태적 변화에 대한 연구가 가능할 것이다. 나아가 도시의 이산화탄소 감축 정책 수립을 위해서는 가구의 에너지 소비행태를 파악할 수 있는 자료를 이용하여 이산화탄소 배출 메커니즘의 확장된 구조에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌 •••••

강창덕. 2011. “공간계량모형에 의한 서울시 에너지 소비 분석과 정책과제-전력과 도시가스 소비를 중심으로”. 서울도시연구 제12권 제4호, pp1-22.
 교통안전공단. 2011. 2010년도 자동차 주행거리 실태분석 연구.
 김리영·서원석. 2011. “압축도시 특성이 지역별 교통에너지 소비

- 에 미치는 영향 분석: 수도권·비수도권 간의 차이를 중심으로”. 한국지역개발학회지 제23권 제1호, pp33-54.
- 김민주·양지청·정창무. 2010. “토지복합이용에 따른 이산화탄소 발생량 변화에 관한 연구-서울시를 대상으로-”. 국토계획 제45권 제6호, pp35-43.
- 김성태. 2004. “한국지방자치단체의 지방재정자립도 결정요인 분석”. 한국동서경제연구 제16권 제1호, pp1-18.
- 김승남·이경환·안건혁. 2009. “압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향”. 국토계획 제44권 제2호, pp231-243.
- 김유란·홍원화·서윤규·전규엽. 2011. “공동주택 가족 구성원별 전력소비 성향에 관한 연구”. 한국주거학회 논문집 제22권 제6호, pp43-50.
- 김태현·김홍규·한순금. 2011. “읍·면·동의 공간적 특성이 가구의 음식, 주거, 통행 에너지 사용에 미치는 영향 분석-경기도 생태발자국 설문을 중심으로-”. 국토계획 제46권 제1호, pp117-127.
- 남창우·권오서. 2005. “중소도시의 교통에너지 소비 특성에 관한 연구”. 한국지방자치학회지 제7권 제2호, pp169-187.
- 노승철·이희연. 2013. “가구 부문의 에너지 소비량에 영향을 미치는 요인 분석”. 국토계획 제48권 제2호, pp295-312.
- 배민호·이은주·박은미·김동호·김재민·조수. 2008. “요소기술 및 사용자 정책이 건물에너지 절감에 미치는 기여도 분석을 위한 기초 연구”. 한국건축친환경설비학회 2008년 춘계학술대회발표논문집, pp3-24.
- 서민호·김세용. 2011. “도시형태계획요소와 통행행태 특성요소간 연관성 분석-도시규모입지에 따른 녹색도시 계획 정책을 중심으로-”. 국토계획 제46권 제4호, pp223-244.
- 성현곤·추상호. 2010. “근린생활권 단위의 압축도시 개발이 통행수단 부담율과 자족성에 미치는 효과 분석”. 국토계획 제45권 제1호, pp155-169.
- 송기욱·남진. 2009. “압축형 도시특성 요소가 교통에너지 소비에 미치는 영향에 관한 실증분석”. 국토계획 제44권 제5호, pp193-206.
- 송승영·이수진. 2008. “에너지 절약형 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석 및 설계모델 설정”. 대한건축학회 논문집 계획계 제24권 제11호, pp329-340.
- 신상영. 2004. “토지이용과 자동차의존성 간의 관계”. 서울도시연구 제5권 제1호, pp71-93.
- 안건혁. 1998. “에너지 절감을 위한 적정 도시개발밀도에 관한 연구”. 국토연구 제27권, pp19-30.
- 양희진·최마중. 2011. “압축도시의 탄소증감 효과에 관한 건물·교통·녹지 통합모형”. 국토계획 제46권 제3호, pp281-292.
- 에너지관리공단. 2011. 에너지 기후변화 편람.
- 오세진·양병화·현보성·김형수. 2001. “에너지 절약 행동을 위한 선행요인들의 효과모델 검증”. 사회문제 제7권 제1호, pp37-62.
- 원두환. 2012. “고령화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력수요를 중심으로”. 자원·환경 경제연구 제21권 제2호, pp341-369.
- 이경환. 2010. “압축도시 개발이 대중교통을 이용한 통근통행에 미치는 영향-한국의 54개 중소도시를 대상으로-”. 한국방재학회논문집 제10권 제2호, pp55-60.
- 이성근·이성인. 2008. 국가에너지절약 및 효율향상 추진체계 개선방안 연구 - 가정·상업부문의 에너지 효율 평가. 경기: 에너지경제연구원.
- 이윤재·이현수·박소운. 2011. “공동주택 거주자의 에너지 사용행태 및 에너지 절약 의식 분석”. 한국주거학회논문집 제22권 제6호, pp31-42.
- 이희연·노승철. 2012. 고급통계분석론-이론과 실습. 파주: 범문사.
- 임기추. 2008. 에너지 절약 정보유형의 가정부문 에너지 소비 영향 분석. 경기: 에너지경제연구원.
- 임기추·강운영. 2004. 생활양식이 가정부문 에너지 소비에 미치는 영향 분석. 경기: 에너지경제연구원.
- 조운애·김경환. 2008. “도시개발밀도가 에너지 효율성에 미치는 영향”. 한국정책학회보 제17권 제4호, pp113-134.
- 지식경제부. 2011. 에너지총조사.
- 통계청. 2010. 인구주택총조사.
- 한국도시가스협회. 2010. 2010년 회사별 용도별 수요기수 및 공급량.
- 한국석유공사. 2011. 2010년 석유류 수급통계.
- 한국전력공사. 2011. 2010년 한국전력통계.
- Boarnet, M. and Sarmiento, S. 1998. “Can Land Use Policy Really Affect Travel Behaviour? A Study of the Link between Non-work Travel and Land-use Characteristics”. *Urban Studies* vol.35, no.7, pp1155-1169.
- Cervero, R. 1996. “Mixed Land-uses and Commuting: Evidence from the American Housing Survey”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* vol.30, no.5, pp361-377.
- Cervero, R., and Murakami, J. 2010. “Effects of Built Environments on Vehicle Miles Traveled: Evidence from 370 US Urbanized Areas”. *Environments and Planning A* vol.42, pp400-418.
- Dieleman, F., Dijst, M. and Burghouwt, G. 2002. “Urban Form and Travel Behaviour: Micro-level Household Attributes and

- Residential Context". *Urban Studies* vol.39, no.3. pp507-527.
- Druckman, A. and Jackson, T. 2008. "Household Energy Consumption in the UK: A Highly Geographically and Socio-economically Disaggregated Model". *Energy Policy* vol.36. pp3177-3192.
- Esposito Vinzi, V., Trinchera, L., and Amato, S. 2010. "PLS Path Modeling: Form Foundations to Recent Developments and Open Issues for Model Assessment and Improvement". eds. Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J. and Wang H. in *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications*. Berlin, Germany : Springer-Verlag. pp47-82.
- Ewing, R. and Cervero, R. 2010. "Travel and the Built Environment". *Journal of American Planning Association* vol.76, no.3. pp265-294.
- Ewing, R. and Rong, F. 2008. "The Impact of Urban Form on U.S. Residential Energy Use". *Housing Policy Debate* vol.19, no.1. pp1-30.
- Fong, W. K., Matsumoto, H, Lun, Y. F. and Kimura, R. 2007. "Influences of Indirect Lifestyle Aspects and Climate on Household Energy Consumption". *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* vol.6, no.2. pp395-402.
- Glaeser, E. L. and Kahn, M. E. 2010. "The Greenness of Cities: Carbon Dioxide Emissions and Urban Development". *Journal of Urban Economics* vol.67, no.3. pp404-418.
- Gordon, P. and Richardson, H. 1989. "Gasoline Consumption and Cities: a Reply". *Journal of American Planning Association* vol.55. pp342-346.
- Gotz, O., Liehr-Goobers, K. and Krafft, M. 2010. "Evaluation of Structural Equation Models Using the Partial Least Squares(PLS) Approach". eds. Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J., and Wang H. in *Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications*. Berlin, Germany: Springer-Verlag. pp691-711.
- Gram-Hassen, K. 2009. "Standby Consumption in Households Analyzed with a Practice Theory Approach". *Journal of Industrial Ecology* vol.14, no.1. pp150-165.
- Grazi, F., van den Berge, J. C. J. M. and Ommeren, J. 2008. "An Empirical Analysis of Urban Form, Transport and Global Warming". *The Energy Journal* vol.29, no.4. pp98-122.
- Greening, L. A., Greene, D. L., and Difiglio, C. 2000. "Energy Efficiency and Consumption—the Rebound Effect—a Survey". *Energy Policy* vol.28. pp389-401.
- Guerin, D. A., Yust, B. L., and Coopet, J. G. 2000. "Occupant Predictors of Household Energy Behavior and Consumption Change as Found in Energy Studies Since 1975". *Family and Consumer Sciences Research Journal* vol.29, no.1. pp48-80.
- Herring, H. 2006. "Energy Efficiency—a Critical View". *Energy* vol.31. pp10-20.
- Hitchcock, G. 1993. "An Integrated Framework for Energy Use and Behavior in the Domestic Sector". *Energy and Building* vol.20. pp151-157.
- 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. pp2145-2166.
- IEA. 2011. CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report.
- Ironmonger, D. S., Aitken, C. K. and Erbas, B. 1995. "Economies of Scale in Energy Use in Adult-only Households". *Energy Economics* vol.17, no.4. pp301-310.
- Janda, K. B. 2011. "Buildings Don't Use Energy: People Do". *Architectural Science Review* vol.54. pp15-22.
- Jiang, L. and Hardee, K. 2011. "How Do Recent Population Trends Matter to Climate Change?". *Population Research and Policy Review* vol.30. pp287-312.
- Kenworthy, J. R. and Laube, F. B. 1996. "Automobile Dependence in Cities: An International Comparison of Urban Transport and Land Use Patterns with Implications for Sustainability". *Environmental Impact Assessment Review* vol.16. pp279-308.
- Kock, N. 2012. *WarpPLS 3.0 User Manual*. Laredo TX : ScriptWarp Systems.
- Kriström, B. 2008. "Residential Energy Demand". in *Household Behaviour and the Environment: Reviewing the Evidence*. Paris : OECD. pp95-115.
- Lin, J., and Yang, A. 2009. "Structural Analysis of How Urban Form Impacts Travel Demand: Evidence From Taipei". *Urban Studies* vol.46, no.9. pp1951-1967.
- Liu, C. and Shen, Q. 2011. "An Empirical Analysis of the Influence of Urban Form on Household Travel and Energy Consumption". *Computers, Environments and Urban Systems* vol.35. pp347-357.
- Lutzenhiser, L. 1992. "A Cultural Model of Household Energy

- Consumption". *Energy* vol.17, no.1, pp47-60.
- Marshall, J. 2008. "Energy-efficient Urban Form". *Environmental Science & Technology* vol.42, pp3133-3137.
- Mindali, O., Raveh, A. and Salomon, I. 2004. "Urban Density and Energy Consumption: A New Look at Old Statistics". *Transportation Research Part A: Policy and Practice* vol.38, no.2, pp143-162.
- Newman, P. W. G. and Kenworthy, J. R. 1989. "Gasoline Consumption and Cities: A Comparison of U.S. Cities with a Global Survey". *Journal of the American Planning Association* vol.55, no.1, pp24-37.
- _____. 2006. "Urban Design to Reduce Automobile Dependence". *Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies* vol.2, no.1, pp35-52.
- Norman, J., Maclean, H. L., Asce, M. and Kennedy, C. A. 2006. "Comparing High and Low Residential Density Life-cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions". *Journal of Urban Planning and Development* vol.132, no.1, pp10-21.
- Nugroho, S. B., Fujiwara, A., Zhang, J., Kanemoto, K., Moersidik, S. S., and Abbas, S. 2010. "Development of a Household Energy Consumption Model for Megacities in Asia". *Proceeding of International Sustainable Development Research Conference*. 2010. 30 May - 1 June. Hong Kong.
- O'Neill, B. C. and Chen, B. S. 2002. "Demographic Determinants of Household Energy Use in the United States". *Population and Development Review* vol.28(supplement), pp53-88.
- Owens, S. 1992. "Energy, Environmental Sustainability and Land-use Planning". ed. Breheny, M. J. in *Sustainable development and Urban Form London* : Pion, pp79-105.
- Perkins, A., Hamnett, S., Pullen, S., Zito, R. and Trebilcock, D. 2009. "Transport, Housing and Urban Form: the Life Cycle Energy Consumption and Emissions of City Centre Apartments Compared with Suburban Dwellings". *Urban Policy and Research* vol.27, no.4, pp377-396.
- Qin, B. and Han, S. S. 2013. "Planning Parameters and Household Carbon Emission: Evidence from High- and Low-carbon Neighborhoods in Beijing". *Habitat International* vol.37, pp52-60.
- Saunders, H. 2013. "Is What we Think of as 'Rebound' Really Just Income Effects in Disguise?". *Energy Policy* vol.57, pp308-317.
- Schipper, L., Bartlett, S., Hawk, D. and Vine, E. 1989. "Linking Life-style and Energy Use: a Matter of Time?". *Annual Review of Energy* vol.14, pp273-320.
- Steemer, K. and Yun, G. Y. 2009. "Household Energy Consumption: a Study of the Role of Occupants". *Building Research & Information* vol.37, no.5, pp625-637.
- van de Coevering, P. and Schwanen, T. 2006. "Re-evaluating the Impact of Urban Form on Travel Patterns in Europe and North America". *Transport Policy* vol.13, pp229-239.
- van de Weghe, J. R. and Kennedy, C. 2007. "A Spatial Analysis of Residential Greenhouse Gas Emissions in the Toronto Census Metropolitan Area". *Journal of Industrial Ecology* vol.11, no.2, pp133-144.
- Wei, Y. M., Liu, L. C., Fan, Y. and Wu, G. 2007. "The Impact of Lifestyle on Energy Use and CO₂ Emission: an Empirical Analysis of China's Residents". *Energy Policy* vol.35, pp247-257.
- Wende, W., Huelsmann, W., Marty, M., Penn-Bressel, G. and Bobylev, M. 2010. "Climate Protection and Compact Urban Structures in Spatial Planning and Local Construction Plans in Germany". *Land Use Policy* vol.27, no.3, pp864-868.
- 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, pp325-354.
- Yu, B., Zhang, J. and Fujiwara, A. 2013. "Evaluating the Direct and Indirect Rebound Effects in Household Energy Consumption Behavior: A Case Study of Beijing". *Energy Policy* vol.57, pp441-453.
- Yun, G. Y. and Steemers, K. 2011. "Behavioural, Physical and Socio-economic Factors in Household Cooling Energy Consumption". *Applied Energy* vol.88, pp2191-2200.

-
- 논문 접수일: 2014. 1. 10
 - 심사 시작일: 2014. 1. 17
 - 심사 완료일: 2014. 5. 22

요약

주제어: 가구 에너지 소비, 이산화탄소, 구조방정식, 부분 최소제곱

본 논문은 가구 부문의 에너지 소비에 영향을 미치는 요인들을 도출하고, 에너지 소비요인들이 가구의 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 이산화탄소 배출 구조를 분석하는 데 목적을 두었다. 국내 81개 도시 가구 부문의 에너지원별(석유·도시가스, 전력, 자가용) 소비량 자료를 구축하고 PLS-구조방정식모형을 통해 이산화탄소 배출구조를 실증분석한 결과, 선정된 6개 에너지 소비요인들(가구, 주택, 교통기반시설, 자가용 이용, 도시 유형, 도시 특성) 가구 부문의 이산화탄소 배출에 유의한 직·간접적인 영향을 미치고 있으며 에너지원에 따라 에너지 소비요인이 다르다. 가구의 석유·도시가스 소비는 주택 유형 및 노후도와 같은 물리적 특성에 영향을 받지만 전력 소비는 소득, 연령, 가구 규모 등 가구의 사회·경제적

특성에 더 많은 영향을 받는다. 한편 자가용에너지는 가구의 자가용 이용 특성과 도로, 대중교통 등 기반 시설에 따라 소비량에 차이가 있다. 또한 하나의 에너지 소비 요인이 각 에너지원에 상충된 효과를 나타내고 있다. 고령인구의 증가는 석유·도시가스 소비량은 증가시키지만 전력과 자가용 에너지 소비량은 줄인다. 반면, 소득의 증가는 반대의 효과를 나타냈다. 이와 같이 가구의 사회·경제적 특성, 주택, 도시 기반시설 등은 가구의 에너지원별 소비량과 이산화탄소 배출량에 직·간접적인 영향을 미치고 있기 때문에 도시의 이산화탄소 배출량 감축 정책은 도시 구성요소들의 구조적 변화를 고려한 통합정책으로 수립되어야 한다.

부록 1 _ 에너지 소비 요인의 산출식 및 자료 출처

변수	설명	단위	자료출처
순 인구밀도	총인구수/도시지역면적	인/km ²	시·군 통계연보
신규 주택비율	2005년 이후 건축된 주택 비율	%	2010 센서스
아파트 거주 가구비율	아파트에 거주하는 가구의 비율	%	2010 센서스
재정 자립도		%	시·군 통계연보
고령 인구 비율	65세 이상 인구 비율	%	2010 센서스
1인 가구비율	총 가구 중 1인 가구 비율	%	2010 센서스
승용차 보유대수	가구 당 승용차 보유대수	대/가구	2010 센서스
승용차 이용횟수	1인 1일 승용차 이용횟수	회/인	2010 센서스
1인당 도로길이		m/인	시·군 통계연보
대중교통 공급 수준	인구 천 인당 대중교통종사자수	인/천 인	2010 센서스

부록 2 _ 도시 유형별 분류

	일반시	도농복합시	도시수
수도권	서울시, 인천시, 수원시, 성남시, 의정부시, 안양시, 부천시, 광명시, 동두천시, 안산시, 고양시, 과천시, 구리시, 오산시, 시흥시, 군포시, 의왕시, 하남시 등 18개 시	평택시, 남양주시, 용인시, 파주시, 이천시, 안성시, 김포시, 화성시, 광주시, 양주시, 포천시 등 11개 시	29개
비수도권	부산시, 대구시, 광주시, 대전시, 울산시, 동해시, 태백시, 속초시, 청주시, 전주시, 목포시 등 11개 시	춘천시, 원주시, 강릉시, 삼척시, 충주시, 제천시, 천안시, 공주시, 보령시, 아산시, 서산시, 논산시, 계룡시, 군산시, 익산시, 정읍시, 남원시, 김제시, 여주시, 순천시, 나주시, 광양시, 포항시, 경주시, 김천시, 안동시, 구미시, 영주시, 영천시, 상주시, 문경시, 경산시, 진주시, 통영시, 사천시, 김해시, 밀양시, 거제시, 양산시, 통합창원시, 제주특별자치도 등 41개 시	52개
도시수	29개	52개	81개

부록 3_ 수도권과 비수도권 도시 특성 비교

(단위: kgCO₂/인)

구분	수도권	비수도권	평균차이 검정
도시수	29	52	
순인구밀도(인/km ²)	18,420	9,051	-7.2***
65세 이상 인구 비율(%)	9.1	14.5	5.9***
아파트 거주 가구비율(%)	56.6	46.8	-3.5***
1인당 도로길이(m/인)	1.4	3.5	5.9***
도시가스 비중(%)	75.5	39.9	-7.4***

주: 평균차이 검정은 집단 간 T-검정 결과이며, *, **, ***은 유의 수준 0.05, 0.01에서 유의함.

부록 4_ 일반시와 도농복합시 도시 특성 비교

(단위: kgCO₂/인)

구분	일반시	도농 복합시	평균 차이 검정
도시수	29	52	
순인구밀도(인/km ²)	17,103	9,785	5.03***
65세 이상 인구 비율(%)	9.3	14.4	-5.44***
아파트 거주 가구비율(%)	55.7	47.3	3.26***
1인당 도로길이(m/인)	1.4	3.5	-5.94***
도시가스 비중(%)	74.5	40.5	6.17***

주: 평균차이 검정은 집단 간 T-검정 결과이며, *, **, ***은 유의 수준 0.05, 0.01에서 유의함.

부록 5_ 석유환산 계수 및 탄소배출 계수

연료	단위	순발열량(kcal)	석유 환산계수	탄소배출계수(TonC/TOE)
원유	kg	10,100	1.01	0.829
휘발유	리터	7,400	0.74	0.783
실내등유	리터	8,200	0.82	0.812
보일러등류	리터	8,350	0.835	0.812
경유	리터	8,450	0.845	0.837
B-A유	리터	8,750	0.875	0.875
B-B유	리터	9,100	0.91	0.875
B-C유	리터	9,350	0.935	0.875
프로판	kg	11,050	1.105	0.713
부탄	kg	10,900	1.09	0.713
나프타	리터	7,450	0.745	0.829
용제	리터	7,350	0.735	0.783
항공유	리터	8,200	0.82	0.808
아스팔트	kg	8,350	0.835	0.912
윤활유	리터	8,650	0.865	0.829
석유코크	kg	7,850	0.785	1.140
부생연료 1호	리터	8,350	0.835	0.783
부생연료 2호	리터	9,200	0.92	
천연가스(LNG)	kg	11,750	1.175	0.637
도시가스(LNG)	Nm ³	9,550	0.955	0.637
도시가스(LPG)	Nm ³	13,800	1.38	0.713
국내무연탄	kg	4,600	0.46	1.100
수입무연탄	kg	6,400	0.64	1.100
유연탄(연료용)	kg	5,950	0.595	1.059
유연탄(원료용)	kg	6,750	0.675	1.059
아역청탄	kg	5,000	0.5	
코크스	kg	7,000	0.7	1.210
전력	kWh	860	0.086	

주: 1) 이산화탄소 배출량 산정을 위해 순발열량 사용.

2) 전력은 최종 에너지 사용 기준 발열량이며, 이산화탄소 배출계수는 전력거래소 2010년 사용단 기준 0.4714 CO_{2eq}/MWh 사용.
자료: 에너지관리공단(<http://co2.kemco.or.kr>).

부록 6_ 주거에너지 소비 요인의 주요 선행연구 결과

에너지 소비 측정 지표	선행연구	소비 요인
1인당 주거에너지 총소비량	Fong et al. (2007)	• 성별(남성), 연령, 직업(자영업, 근로자, 은퇴자) • 인구규모(대도시, 중소도시, 농촌)
	Glaeser et al. (2010)	• 소득, 인구수, 도심 고용 집중도 • 1월 평균 기온, 7월 평균 기온, 부동산 규제
	Guerin et al. (2000)	• 성별(남성), 소득, 주택 소유, 교육수준, 가구원수, 장애인, 주택면적, 주택 거주 시간, 가전 기기 보유수, 에너지 절약의식, 건강의식, 정보 획득
	Nugroho et al. (2006)	• 사회·경제적 속성(연령, 교육수준, 소득, 가구원수, 가구 구성) • 주택 특성(면적, 주택 유형, 건축 방식), 기기 보유(냉장고, 에어컨, 전자기기)
	O'neil and Chen (2002)	• 연령, 소득, 가구 구성(가구원수, 가구원 중 성인의 수)
	김태현 외(2011)	• 인구밀도(순인구밀도), 가구 소득
	노승철·이희연 (2013)	• 소득(1인당 지방세) • 가구 특성(65세 이상 인구비중, 평균가구원수, 여성 경제활동 참가율) • 소비패턴(음식숙박지출 비중) • 물리적 환경(순인구밀도, 아파트 비율), 등유 가격
	임기추·강윤영 (2004)	• 주택면적, 소득, 연령, 가구원수, 취업주부 • 생활양식(정보화, 고령화, 여성의 사회진출, 여가의 증대, 위생 지향, 개인주의화, 에너지절약 촉진)
난방에너지	Ewing and Rong (2008)	• 주택면적, 주택 유형(공동주택), 건축연도 • 가구 구성(성인의 수), 가구 소득, 에너지 가격, 난방도일 • 도시 형태(스프롤 정도)
	Steeemers and Yun (2009)	• 가구 특성(소득, 가구원수, 연령) • 주택 특성(면적, 창문 수, 신규주택, 공동주택, 방수) • 에너지 소비 행태(난방 기기 수, 난방 설정온도), 난방도일
전력	Yun and Steemers (2011)	• 가구 특성(소득, 가구원수, 연령), 주택 특성(면적, 공동주택, 방수) • 에너지 소비 행태(냉방 기기수, 기기 사용횟수), 냉방도일
	강창덕 (2011)	• 인구 및 고용 특성(인구밀도, 고용밀도) • 소득 및 생산성(주거용 토지가격, 상업업무용 토지가격) • 부동산개발 특성(주거용 건물면적, 상업업무용 건물면적, 산업용 건물면적)
	김유란 외 (2011)	• 남편 직업(직장인, 자영업, 운수업), 아내 직업(전업주부, 취업주부) • 자녀(미취학아동, 고등학생, 대학생, 대학원생, 직장인)
	원두환(2012)	• 고령화지수, 소득(1인당 실질국민소득), 가정용 전력 가격
에너지 절약 행동 또는 의식	오세진 외 (2001)	• 환경과 에너지에 대한 염려, 에너지 일반지식 • 환경적 이슈, 행위전략에 대한 지식, 성격 요인(책임감, 내적 통제)
	이윤재 외(2011)	• 연령, 교육 수준, 소득, 생애주기(미혼, 유아청소년기, 청년기, 노부부)
	임기추 (2008)	• 성별(여성), 연령, 소득, 학력(대출 여부), 부인취업 여부 • 가구 형태(2인 부부, 3인 이상) • 수도권 거주 여부, 아파트 거주 여부, 주거면적

주: 밑줄로 표시한 요인은 에너지 소비량을 감소시키는 요인임.

부록 7 _ 교통에너지 소비 요인의 주요 선행연구 결과

에너지 소비 측정 지표	선행연구	소비 요인
통행 발생량	Lin and Yang (2009)	<ul style="list-style-type: none"> 경제적 요인(소득, 자동차 보유대수), 밀도(건물밀도, 고용밀도) 다양성(직주혼합도, 주택-소매업비율), 도로 특성(도로밀도, 도로네트워크)
	서민호 · 김세용 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> 밀도(인구밀도, 공동주택 거주비율) 다양성(직주혼합도, 산업혼합도), 공간계획(도로율)
자가용 이용률	Cervero(1996)	<ul style="list-style-type: none"> 토지 이용(공동주택 비율, 소매업 접근성), 인구밀도, 통근거리, 대중교통 접근성
	Grazi et al.(2008)	<ul style="list-style-type: none"> 가구 특성(인구밀도, 맞벌이 가구) 개인 속성(남성, 독일국적, 연령, 교육수준, 소득, 근로시간)
	Mindali et al.(2004)	<ul style="list-style-type: none"> 소득, 교육수준, 자동차 보유, 가구 특성(가구원 중 취업자수) 주거환경(대도시, 교외지역, 뉴타운)
	Wei et al.(2007)	<ul style="list-style-type: none"> 경제적 요인(소득, 자동차 보유대수) 밀도(건물밀도, 고용밀도), 다양성(직주혼합도, 주택-소매업 비율), 도로 특성(도로밀도, 도로네트워크)
	김민주 외(2010)	<ul style="list-style-type: none"> 통행거리, 도착지 토지 이용(토지이용복합도, 문화시설 비율, 도로면적) 사회 · 경제적 변인(다가구/다세대 비율)
	성현곤 · 추상호(2010)	<ul style="list-style-type: none"> 밀도(인구밀도, 고용밀도), 복합성(직주균형지수, 산업복합도) 접근성(버스정류장밀도, 철도역밀도) 도시설계(도로밀도, 교차로밀도, 4지교차로 비율, 막다른 골목밀도) 마을 속성(인천, 경기, 읍단위)
	신상영(2004)	<ul style="list-style-type: none"> 출발지 속성(지하철까지 거리, 고용접근도, 강남지역) 목적지 속성(상업/업무면적 비율, 버스노선수, 고용접근도, 지하철역까지 거리) 통행소요시간, 통행시간대, 통행연계여부 성별, 가구주 여부, 소득, 가구원수, 아파트 거주가구
이경환(2010)	<ul style="list-style-type: none"> 나이, 남성, 교육수준, 결혼 여부, 사무직, 자동차 보급률 도로밀도, 간선도로율, 버스정류장 밀도, 지하철 유무 인구밀도, 직주균형비 	
1인당 주행거리	Cervero and Murakami (2010)	<ul style="list-style-type: none"> 통행 특성(자가용 이용률), 교통시설 공급(도로밀도), 도시환경 변수(인구밀도, 소매업 접근도), 도시지역 특성(소득, 도시화율)
	Esposito Vinzi et al. (2010)	<ul style="list-style-type: none"> 밀도(인구밀도, 가구밀도, 고용밀도), 다양성(토지이용 혼합, 직주 균형) 도시디자인(교차로밀도, 4지교차로 비율) 도착지 접근성(자동차 접근성, 대중교통 접근성, 도심까지 거리) 대중교통 접근성
	Liu and Shen(2011)	<ul style="list-style-type: none"> 도시 형태(인구밀도), 사회인구학적 특성(여성, 자동차 보유대수)
	van de Coevering et al. (2006)	<ul style="list-style-type: none"> 도시 형태(순인구밀도, CBD, 고용집중도) 사회 · 경제적 특성(취업률)
	노승철 · 이희연 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> 소득(1인당 지방세 부담액), 가구 특성(65세 이상 인구비중, 평균가구원수) 소비 패턴(음식숙박비 지출 비중, 자가용 보유대수) 물리적 환경(순인구밀도, 대중교통 종사자수, 휘발유가격)
1인당 휘발유 소비량	김리영 · 서원석 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> 압축 이용(공동주택 주거 비율), 혼합 수준(토지이용-용도의 혼합) 교통 · 문화시설(승용차 분담률, 내부통행 비율), 경제 수준(재정 자립도)
	김승남 외 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> 경제 수준(부동산 보유세, 재산세) 밀도(인구밀도, 고용밀도, 시가지 인구밀도, 시가지 고용밀도) 단핵분산(다핵화 도시 더미) 대중교통(버스노선수, 버스정류장수, 지하철 유무, 대중교통 수송 분담률)
	남창우 · 권오서(2005)	<ul style="list-style-type: none"> 도시 규모(총인구수), 도시밀도(인구밀도), 도로밀도(도로밀도), 인구 집중도
	송기옥 · 남진 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> 도시 형태(압축성), 밀도(고용밀도) 토지 이용(혼합토지 이용률, 직주근접비, 공동주택 비율) 기반시설(1인당 공원면적, 기반시설 공급량) 산업경제(3차산업 비율, 1인당 승용차대수, 1인당 지방세납부액) 도시관리능력(재정 자립도)

주: 밑줄로 표시한 요인은 에너지 소비량을 감소시키는 요인임.