

주거 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량의 지역 격차와 격차요인 분석 -중국의 성(省)급을 대상으로 하여-

이순성* · 이희연**

Regional Disparity and Its determinants of CO₂ Emissions from Residential Energy Consumption in China

Shun Cheng Li* · Hee Yeon Lee**

요약 : 본 논문은 중국의 가구부문에서의 주거 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량의 지역 격차를 파악하고 지역 격차에 영향을 미치는 요인을 추정하는 데 목적을 두었다. 2006~2011년 동안 30개 성급의 균형 패널 데이터를 토대로 1인당 이산화탄소 배출량을 종속변수로, 가구 특성 요인과 지역환경 특성 요인들을 설명변수로 하는 패널모형을 구축하였다. 모형의 추정 결과 가구 특성 중 대졸자 비율, 1인가구 비율, 여성경제활동비율, 노령인구 비율은 탄소 배출에 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 지역 특성 중 주거밀도가 높을수록 탄소배출량이 줄어드는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 중국에서 주거 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량을 절감시키는 정책을 수립하는데 있어서 지역별 가구특성, 공급되는 에너지원, 그리고 지역의 기후특성에 따라 차별화되어야 한다는 정책적인 시사점을 제공하였다.

주요어 : 주거 에너지, 탄소배출량, 지역격차, 패널 모형

Abstract : The purpose of this study is to analyze the regional disparity and its determinants of CO₂ emission from the residential energy consumption in China. This study examines factors that affect the CO₂ emission per capita using the panel model. The panel model was set by a balanced panel data for 30 provinces and for the period of 2006-2011. CO₂ emission per capita is used as the dependent variable and characteristics of the household and regional physical environmental factors are selected as the explanatory variables. The important findings can be summarized as follows. CO₂ emission per capita is influenced by the ratio of the graduate students, household size, the ratio of the old-aged, female economic participation rate. High residential density is negatively affected on CO₂ emission. The findings suggest that the effect of policies reducing CO₂ emission per capita may vary by characteristics of the household, energy sources and regional climate. The results of this empirical study give some implications to reduce the residential energy consumption in the era of climate change.

Key Words : residential energy consumption, CO₂ emissions, regional disparity, panel model

* 서울대학교 환경대학원 박사과정(Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, lsc1985@snu.ac.kr)

** 서울대학교 환경대학원 교수(Professor, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, leehyn@snu.ac.kr)

1. 서론

1) 연구배경과 목적

전 세계적으로 지구 온난화로 인한 기후변화가 심각해지면서 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 노력들이 범세계적으로 확산되고 있다. 2007년 기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 발표한 제4차 보고서에 따르면 기후변화를 유발하는 주범은 온실가스이며, 따라서 각국 정부는 온실가스 감축을 위해 보다 더 강력한 실행방안을 구축하고 이를 이행하여야 함을 강조하고 있다.

그러나 지난 20여년 동안 가장 역동적인 경제 성장을 경험하고 있는 중국의 경우 에너지 소비와 그에 따른 온실가스 배출량은 계속 증가하고 있다. 1978년 개혁개방 이후 중국은 연평균 10%가 넘는 고도 경제성장과 함께 도시화도 급격하게 진전되고 있다. 그 결과 중국의 에너지 소비량은 1980년 5.9억 tce(ton of standard coal equivalent)에서 2010년 32.5억 tce로 늘어나 연평균 20.4%의 증가세를 보이고 있다(중국에너지통계연감, 2010). 2008년 중국에서 화석연료로 인해 배출된 이산화탄소는 약 75.5억톤으로 세계 총 이산화탄소 배출량의 24%를 차지하였으며, 중국은 미국을 제치고 세계 최대 에너지 소비국이면서 이산화탄소 배출국가가 되었다. 뿐만 아니라 에너지 비효율성을 말해주는 에너지원 단위(EI: Energy Intensity)를 나타내는 지표(에너지 소비량/GDP)를 보면 중국이 세계 평균수준의 2배, 미국의 3배, 유럽 연합의 5배, 일본의 8배로 나타나고 있어 중국이 얼마나 에너지가 비효율적으로 소비되고 있는가를 단적으로 말해준다(JIN, 2012).

하지만 중국은 2009년 코펜하겐에서 열린 기후 변화협약 당사국 총회에서 2020년까지 이산화탄소 배출량을 2005년 대비 40~45% 감축하고 비화

석 에너지가 차지하는 비중도 15%까지 높이겠다는 공약을 선언하였다. 이는 중국정부가 공식적으로는 처음 발표하는 감축 목표이며 이를 실현하기 위해 중국정부는 ‘국민경제 및 사회발전 중장기 계획’ 속에 이런 내용을 포함시켰다.

중국의 경우 이산화탄소를 대량 배출시키는 주원인은 에너지 소비 증가이며, 이는 지난 30년간 고도 경제성장을 이끌어온 ‘고투입, 고소모, 고배출’이라는 조방적 경제성장 방식과 급속한 도시화로 인한 것이다(Li *et al.*, 2008; Lin & Liu, 2010). 특히 국민소득의 증가와 함께 도시화가 진전되면서 에너지 수요가 크게 증가하였기 때문이다. 그러나 중국에서 이루어진 에너지 소비 및 이산화탄소 배출과 관련된 연구들은 주로 산업 부문에 집중되어 있다. 즉, 생산적인 관점에 초점을 두고 산업 부문의 생산과정에서 이산화탄소 배출량 감축을 위한 방안 및 해결책에 초점을 둔 연구들이 주로 이루어졌다(Feng *et al.*, 2011). 그러나 산업 부문에서의 이산화탄소를 감축하는 대응책을 수립하는 경우 주어진 감축목표를 효율적으로 달성하지 못하는 경우가 많으며, 에너지를 직접 소비하고 소비행태의 변화가 빠르게 나타나는 가구 부문을 대상으로 한 연구가 이루어져야 한다는 주장이 고조되고 있다(Bin & Dowlatabadi, 2005; Pachauri & Spreng, 2002; Reinders *et al.*, 2003). 이는 산업 부문에서의 에너지 효율성을 높임으로써 에너지 소비를 감소시키는 효과에 비해 소득증가와 인구성장에 따른 에너지 소비량 증가추세가 더 크기 때문에 온실가스 배출량은 줄어들지 않는 것으로 파악되었기 때문이다(IPCC, 2007).

최근 중국에서 이루어진 연구들도 이러한 주장을 뒷받침하고 있다. 중국의 경우 산업 부문 자체가 석탄과 화력발전 등 단위당 이산화탄소 배출량이 높은 화석 에너지원에 지나치게 의존하고 있기 때문에 이를 단기간에 변화시키는 것은 어려우며, 따라서 산업 부문의 에너지 구조조정만으로 이산화탄소 감축목표를 달성하는 것은 거의 불가능할

것으로 예측하고 있다(Fan & Li 2011; Lin & Liu, 2010; Wang & Shi, 2009). 더 나아가 중국의 경제·사회구조가 효율적으로 조정되고 국민소득이 지속적으로 증가함에 따라 산업 부문에서의 에너지 소비는 점차 안정세를 보이게 되지만 가구 부문에서의 에너지 소비는 급격하게 증가할 것으로 전망되고 있어 향후 중국의 총 에너지소비량과 이산화탄소 배출량은 지속적으로 증가될 것으로 예상되고 있다(Fan & Li, 2011). 따라서 산업 부문에서의 기술혁신을 통한 탄소 저감정책도 중요하지만, 세계 최대 인구를 지닌 중국의 경우 에너지의 직접 소비하는 가구 부문에서의 에너지 소비 및 그에 따른 이산화탄소 배출량 분석에 대한 연구가 시급하게 이루어져야 한다.

위와 같은 배경 하에서 본 연구는 중국의 성급을 대상으로 가구 부문의 주거 에너지 소비와 그에 따른 이산화탄소 배출량의 지역 간 격차를 분석하고, 지역 간 격차를 유발하는 요인들을 도출하는데 목적을 두었다. 특히 그동안 중국에서는 거의 다루어지지 않았던 가구의 인구·사회·경제학적 특성 및 이들이 거주하고 있는 지역환경 요인들이 에너지 소비 및 탄소 배출에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 분석하는데 초점을 두고자 한다.

2) 연구방법과 자료

가구 부문에서 소비되는 에너지는 주거 에너지와 교통 에너지로 나누어볼 수 있다. 그러나 중국에서 공식 발표되는 에너지통계연감에는 가구 부문에서 소비되는 주거 에너지 데이터만 제공하고 있다. 가구 부문에서 소비되는 교통 에너지는 가구 이외의 다른 부문들에서 소비되는 교통 에너지와 합산되어 데이터가 제공되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 가구 부문에서 소비하는 에너지 가운데 주택 내에서 소비되는 주거 에너지만을 대상으로 분석하고자 한다.

본 연구의 공간단위는 중국의 30개 성(省)·직

할시(直轄市)·소수민족자치구(少數民族自治區)이다.¹⁾ 중국의 경우 가구에 공급되는 에너지원 자체가 지역적으로 상당히 차이가 나고 있으며, 따라서 주거 에너지 소비로 인해 배출되는 1인당 이산화탄소 발생량에도 상당한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 먼저 국내·외 선행연구를 통해 가구의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인들을 고찰하였다.

지역 간 이산화탄소 배출량 격차에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 30개 성(省)급의 6년 간(2006~2011)²⁾ 가구 부문에서의 주거 에너지 소비에 따른 탄소 배출량에 대한 패널 데이터를 구축하였다. 지역별 인구규모를 감안하여 1인당 이산화탄소 배출량의 지역 간 차이에 영향을 미치는 요인들을 추정하기 위하여 지역별 가구특성 요인과 지역환경 특성 요인들을 고려한 패널모형을 구축하였다. 본 연구에서는 사용한 소프트웨어는 ArcGIS 10.0, STATA 11.0이며, 중국에너지통계연감, 중국통계연감, 중국인구·취업통계연감, 중국도농건설통계연감 및 각 성급 행정단위별 통계연감 등을 이용하여 데이터를 구축하였다.

2. 선행연구 고찰

가구 부문의 주거 에너지 소비에 관한 연구들은 가구의 사회·경제 및 인구학적인 특성에 초점을 두고 있다. 즉, 개인 특성(성별, 연령, 교육수준, 소득, 직업) 및 가구 특성(가구원수, 가구 소득, 주택 선호 유형)이 에너지 소비에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 여성이 에너지 위기를 더 잘 알고 있거나 에너지 절약의식이 더 높으며, 소득 및 교육수준이 높을수록 에너지를 많이 소비하는 것으로 알려져 있다(Brandon & Lewis, 1999; Pachauri & Spreng, 2002). 그러나 교육수준이 높은 고소득층이 에너지 절약 기술 향상에

대한 수용 가능성이 훨씬 더 높은 것으로 나타나고 있어 교육수준의 영향력은 아직 확실하지 않다.

최근에 들어오면서 가구 특성 자체보다는 가구들의 생활양식의 차이에 따라서 에너지 소비가 달라진다는 연구들이 이루어지고 있다. 즉, 가구특성과 그에 따른 생활양식에 따라 주택 내 머무는 시간과 에너지 절약 행태도 달라지며 그에 따라 주거 에너지 소비가 달라진다는 것이다(Schipper *et al.*, 1989). 일반적으로 연령이 높아질수록 1인당 주거 에너지 소비량이 많아지는데, 이는 노인층일수록 에너지 절약정신은 강하지만 주택 내 거주하는 시간이 많아지므로 주거 에너지 소비를 증가시킨다는 것이다(Fong *et al.*, 2007).

또한 1인당 에너지 소비량을 비교해보면 1인 가구가 2인 가구에 비해 17~30% 정도 더 소비하는 것으로 알려져 있다(O'Neill & Chen, 2002; Williams & Matthews, 2007). 이는 한 가구 내에서는 난방, 취사 등에 소비되는 에너지는 공유되기 때문에 가구원수가 많을수록 1인당 에너지 소비량이 감소하게 되기 때문이다. 그러나 전기 에너지 소비의 경우 양면성을 갖고 있다. 가구 규모가 증가함에 따라 조명, 공조기, 세탁 등에 소비되는 전력은 가구원들이 공유하여 1인당 소비량이 줄어들지만, 전자제품은 가구 규모가 증가함에 따라 그 수가 증가하여 오히려 1인당 전기 에너지 소비량은 증가하는 것으로 알려져 있다(서현철 외, 2012).

한편 가구 규모가 감소함에 따라 에너지 소비량 뿐만 아니라 에너지 소비구조도 달라지는 것으로 알려져 있다. 1인 가구의 경우 다인 가구에 비해 1인당 취사용 에너지의 비중은 매우 낮은 반면 난방, 온수용 에너지 비중은 높게 나타난다. 더 나아가 가구 내 어린이 수와 같은 가구 구성에 따라서도 에너지 소비량이 달라지는 것으로 나타나고 있다(임기추·강윤영, 2004; Druckman & Jackson, 2009).

기후변화에 따라 온실가스 감축에 대한 논제가

부각되면서 가구의 에너지 소비에 따른 온실가스 배출량을 분석한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 이산화탄소 배출량 분석에 초점을 두는 경우 에너지를 '얼마나' 소비하는가뿐만 아니라 '어떤' 에너지를 '얼마나' 소비하는가로 관심이 확장되고 있다. 이는 에너지원에 따라 배출되는 이산화탄소량이 달라지기 때문이다.

최근 가구 부문에서의 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 요인을 분석한 연구들의 경우 가구 특성뿐만 아니라 가구들이 거주하는 지역환경 특성에 관해서도 주목하고 있다. Ewing & Rong(2008)의 연구 결과에 따르면 도시밀도나 접근성 요인들이 주거 에너지 소비에 직접적으로 미치는 영향은 적지만 주택크기와 주택유형을 선택하는 데 간접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 도심의 열섬효과로 인해 도심 기온이 올라가므로 도심 거주자들은 기온이 높아짐에 따라 난방 에너지는 적게 쓸 수 있지만 냉방 에너지는 더 많이 사용하게 된다. 미국 도시를 대상으로 한 실증 분석한 결과 도시의 압축도가 높아질수록 난방도일(HDDs: heating degree-days) 감소량보다 냉방도일(CDDs: cooling degree-days) 감소가 더 크게 나타나 결과적으로 난방 에너지 감소가 냉방에너지 증가보다 더 큰 것으로 나타났으며, 압축형(compact) 도시가 확산형(sprawl) 도시에 비해 약 20~40%의 주거 에너지와 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

이는 주거 부문 에너지 소비량이 주택 설비 성능 뿐만 아니라 도시형태에 의해서도 영향받고 있음을 말해준다. 가구 부문의 주거 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출과 관련된 연구들은 주택유형 및 건축물 구조를 고려해 저탄소 커뮤니티를 조성하는 것도 이산화탄소 절감효과를 가져올 수 있는 것으로 나타나고 있다(Erling & Ingrid, 2005; Ewing & Rong, 2008; Glaeser & Kahn, 2010).

이와 같은 선행연구들을 종합해보면, 가구 특성과 지역의 물리적 환경이 함께 작용하여 가구의

에너지 소비에 영향을 미치고 있음을 말해준다. 즉, 지역별 에너지 소비량의 차이는 지역의 물리적 환경의 차이에 따른 것일 수도 있고, 유사한 에너지 소비양식을 갖는 사람들이 그 지역에 거주하고 있기 때문일 수도 있다. 따라서 지역 간 에너지 소비의 차이가 어느 한쪽의 주도적인 영향에 의해 서라기 보다는 지역의 물리적 환경과 개인의 생활양식이 서로 상호작용하여 나타난 결과라는 점을 인지하여야 한다.

한편 중국을 대상으로 한 실증연구들의 대부분은 산업 부문을 대상으로 이루어졌으며, 특히 경제발전과 에너지 구조 및 에너지 효율성 측면에 초점을 두고 있다(Fan & Li, 2011; He *et al.*, 2012; Lin & Liu, 2010; Xu *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2010). 또한 가구 부문을 대상으로 한 연구들은 전국적 차원에서 노동인구 비율, 가구원수 그리고 인구밀도에 따라 가구부문의 이산화탄소 배출량이 얼마나 달라지는 가를 분석하였다(Peng & Zhu, 2009; Chen *et al.*, 2009; Niu *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2007). 특정도시(베이징 시)의 가구를 대상으로 설문조사한 연구결과를 보면 건물밀도가 높은 지역의 가구가 단위면적 당 냉난방 에너지 소비가 적으며, 토지이용 혼합도, 직장과의 거리, 지하철역까지의 거리가 가까운 가구일수록 교통부문 탄소 배출량이 적은 것으로 나타났다(Qin & Han, 2013).

그러나 이러한 연구들의 경우 거의 대부분 중국 전체(전국)를 대상으로 수행되어왔으며, 중국의 지역 간 차이에 초점을 둔 연구는 거의 없다. 따라서 지역 차원에서 가구부문의 주거 에너지 소비와 이산화탄소 배출량의 차이를 비교하고 지역 간 격차에 영향을 미치는 요인들을 파악함으로써 탄소 저감 정책에 필요한 정보를 추출하는 연구가 매우 필요한 시점이다.

3. 지역별 주거 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량 변화

1) 가구 부문의 주거 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량 변화

2000~2011년 동안 중국의 전국 가구 부문의 1인당 주거 에너지 소비량 및 각 에너지원별 비중 변화를 보면 그림 1과 같다. 가구 부문에서 1인당 주거 에너지 소비량은 2000년 0.09tce에서 2011년 0.22tce로 증가하여 지난 12년 동안 약 144.4% 증가율을 보였다. 에너지원별 비중의 변화를 보면 가구 부문에서의 주거 에너지 소비구조가 상당히 고도화되었음을 알 수 있다. 2000년 총 에너지 소비량에서 53%를 차지하였던 석탄의 비중은 2011년에는 25%로 크게 감소한 반면에 천연가스는 4%에서 13%, 열에너지는 7%에서 11%, 그리고 전력은 16%에서 27%로 크게 증가하였다. 이는 급속하게 진전되고 있는 도시화 및 경제성장에 따른 소득 증가로 인해 가구 부문에서의 에너지 구조가 열효율이 낮은 석탄에서 천연가스나 전력 등 고효율 에너지로 대체되고 있음을 말해준다.

이와 같은 가구 부문에서의 주거 에너지 소비 추세와 에너지원 비중의 변화는 이산화탄소 배출량에도 영향을 미치게 된다. 이는 에너지원에 따라 이산화탄소 배출계수가 다르기 때문이다. 2000~2011년 동안 전국 가구부문에서의 1인당 이산화탄소 배출량 및 총 에너지원별 이산화탄소 배출량 비중 변화를 보면 그림 2와 같다. 2000년 가구 부문에서의 1인당 이산화탄소 배출량은 1.5톤이던 것이 2011년에는 4.0톤으로 약 166.7% 증가하였다. 에너지원별 이산화탄소 비중의 변화를 보면, 석탄에 의한 이산화탄소 배출량이 전체 이산화탄소 배출량에서 차지하는 비중은 2000년 40.5%에서 2011년 14.9%로 크게 감소하였다. 이는 석탄 소비량이 크게 줄어들었기 때문이다. 반면에 다

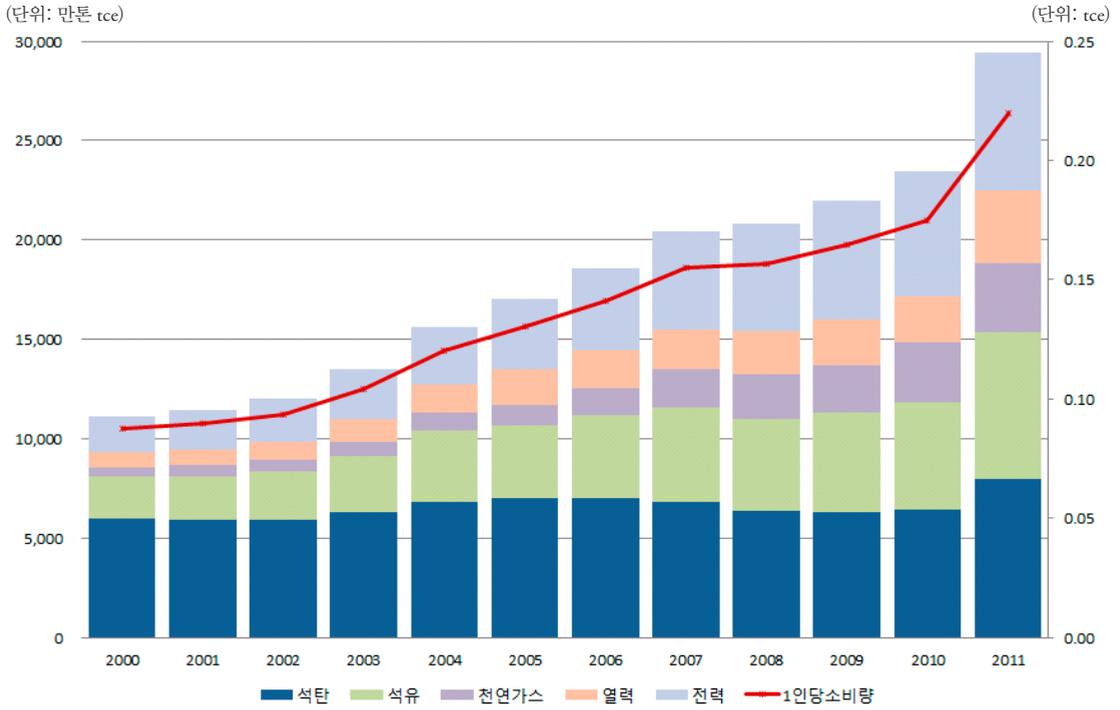


그림 1. 중국의 가구 부문에서의 1인당 주거 에너지 소비량 및 에너지원별 비중 변화, 2000~2011

자료: 중국국가통계국 에너지통계사(能源統計司), 『중국에너지통계연감』 해당연도

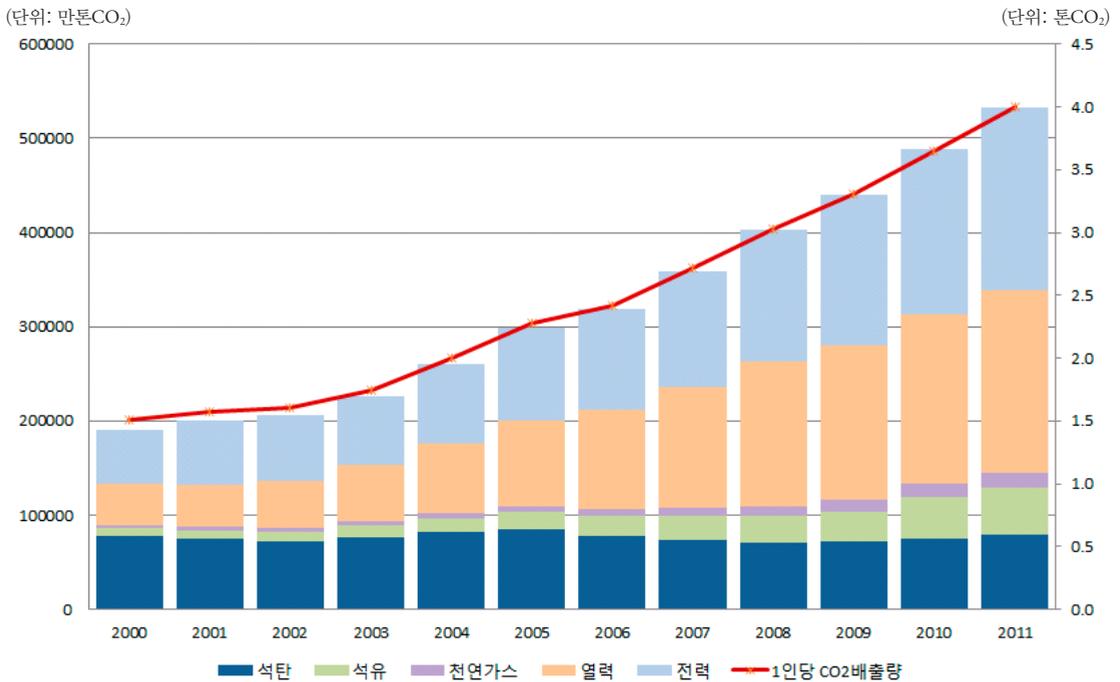


그림 2. 주거 에너지 소비에 따른 1인당 CO₂ 배출량 및 에너지원별 배출량 비중 변화, 2000~2011

른 에너지원들의 경우 소비량이 증가하면서 이산화탄소 배출량에서 차지하는 비중이 증가하고 있다. 석유는 2000년 4.6%에서 2011년의 9.4%로, 열력은 23.3%에서 36.5%, 그리고 전력은 30%에서 36%로 각각 증가하였다. 이에 따라 2011년 중국의 가구 부문의 주거 에너지 소비로 인해 발생하는 이산화탄소 배출량 비중을 보면 열에너지, 전력, 석탄, 석유, 천연가스 순으로 나타나고 있으며, 열력과 전력이 전체 이산화탄소 배출량의 약 72.9%를 차지하고 있다.

2) 지역 간 가구 부문의 이산화탄소 배출량 비교

중국은 국토면적이 넓고 지역별로 다양한 지형과 기후 특성을 갖고 있다. 특히 위도에 따라 한온대, 온대, 아열대, 열대의 순으로 다른 기후대가 나타나고 있어 남북의 기온 차가 상당히 크다. 일례로, 2010년 1월 평균기온의 지역 차이는 최대 36.2℃를 기록하였다(중국통계연감, 2010). 이러한 기온 차로 인해 중국은 진령-회하(秦嶺-淮河)

를 분계선으로 하여 북쪽에 있는 성(省)들의 경우 난방시설이 설치되어 있고, 남쪽에 있는 성(省)들은 난방시설이 없다. 따라서 난방시설을 설치하여 열력을 사용하는 북부지방과 그렇지 않은 남부지방의 경우 주거 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량 차이는 상당히 크다.

지난 6년(2006~2011) 동안 중국 성(省)급별 주거부문의 이산화탄소 총 배출량³⁾ 및 1인당 배출량의 변화를 보면 표 1과 같다. 여기서 석탄류, 석유류와 천연가스는 주로 가구의 난방과 취사로 활용된다. 특히 석탄류의 경우 중국 북부지방에서 중앙 난방시스템이 설치되지 못한 농촌이나 도시 주변의 교외 지역에서 주된 난방 에너지원으로 사용되고 있다. 열력의 경우 중앙 난방시스템이 설치되어 있는 북부 지방에서 주된 에너지원으로 활용된다. 전력은 냉방, 난방(남부 지방에만 한정), 가전제품, 전기기기 등에서 활용된다.

지역별 이산화탄소 배출량을 비교해보면 남부지방과 북부지방 간 현저한 차이가 나타나고 있다(그림 3). 북부지방의 경우 2011년 1인당 이산화탄소 배출량은 6.4톤으로 2006년에 비해 약 64.0%

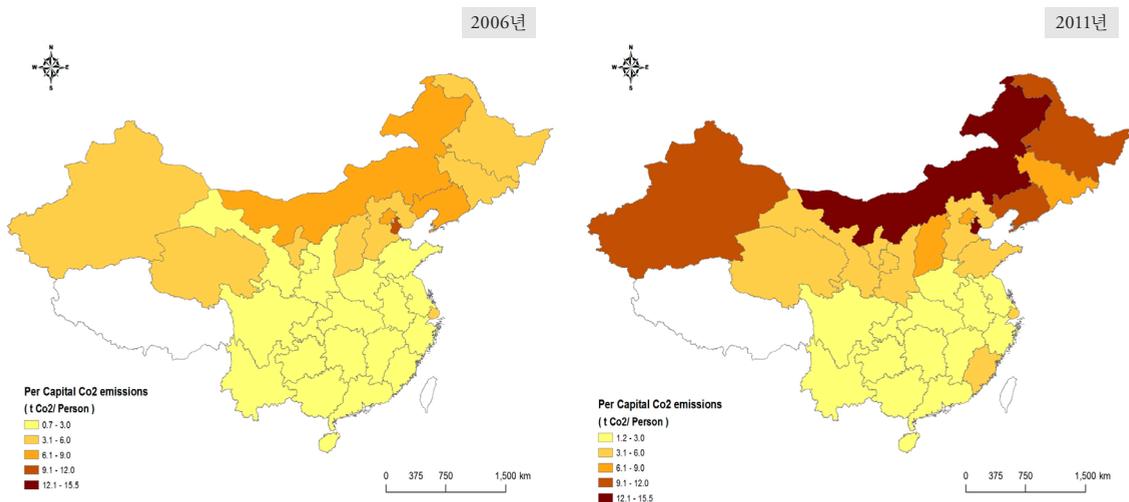


그림 3. 지역별 가구 부문의 주거 에너지 소비에 따른 1인당 CO₂ 배출량 변화, 2006~2011

증가하였다. 같은 기간 중 에너지원별로 탄소배출량의 변화를 보면 석탄에 의한 탄소배출량 비중은 22.1%에서 14.8%로 감소한 반면에 다른 에너지원들의 경우 이산화탄소 배출량에서 차지하는 비중이 2011년에는 증가추세를 보이고 있다. 특히 열력은 49.5%에서 52.3%로 증가하여 북부지방의 경우 이산화탄소 배출량의 절반 이상이 열력 소비로

인한 것임을 말해준다.

남부지방의 경우 2011년 1인당 이산화탄소 배출량은 2.2톤으로 2006년에 비해 46.7% 증가하였으나, 북부지방의 이산화탄소 배출량의 약 34% 수준으로 낮은 편이다. 남부지방도 석탄에 의한 이산화탄소 배출량이 차지하는 비중은 약 10% 감소하여 15%를 차지하는 데 비해 전력에 의한 이산화

표 1. 성(省)급 행정단위별 1인당 이산화탄소 배출량 변화, 2006~2011

(단위: 톤CO₂, %)

지역 구분	2006년						2011년						
	합계	석탄	석유	천연가스	열력	전력	합계	석탄	석유	천연가스	열력	전력	
전국	2.5	0.6 (24.5)	0.2 (6.6)	0.1 (2.4)	0.8 (33.2)	0.8 (33.4)	4.0	0.6 (14.9)	0.4 (9.4)	0.1 (2.8)	1.4 (36.4)	1.5 (36.5)	
북부 지방	3.9	0.9 (22.1)	0.2 (4.1)	0.1 (1.8)	1.9 (49.5)	0.9 (22.4)	6.4	0.9 (14.8)	0.4 (6.3)	0.1 (1.6)	3.3 (52.3)	1.6 (25.0)	
남부 지방	1.5	0.4 (25.9)	0.2 (11.3)	0.05 (3.4)	0.02 (1.2)	0.8 (55.0)	2.2	0.3 (15.1)	0.4 (15.9)	0.1 (5.3)	0.1 (3.5)	1.4 (60.3)	
북부 지방	북경 Beijing	7.8	1.2 (15.8)	1.0 (12.9)	0.4 (5.5)	2.4 (30.3)	2.8 (35.6)	8.6	1.0 (11.6)	1.4 (15.8)	0.4 (4.8)	2.6 (29.9)	3.3 (37.9)
	천진 Tianjin	10.8	0.5 (4.9)	0.3 (3.2)	0.2 (2.2)	7.8 (72.8)	1.8 (17.0)	13.0	0.3 (2.6)	1.0 (7.9)	0.3 (2.0)	9.1 (70.3)	2.2 (17.2)
	허베이 Hebei	3.2	1.0 (30.5)	0.1 (3.1)	0.0 (0.1)	0.9 (28.9)	1.2 (37.3)	4.6	1.1 (24.2)	0.2 (5.0)	0.1 (1.2)	1.2 (26.6)	2.0 (43.0)
	산서 Shanxi	3.9	1.6 (39.9)	0.0 (0.6)	0.0 (0.7)	1.6 (40.3)	0.7 (18.5)	6.4	1.8 (28.4)	0.2 (2.4)	0.0 (0.7)	2.9 (44.8)	1.5 (23.7)
	내몽골 Inner Mongolia	7.6	1.5 (19.8)	0.1 (1.6)	0.1 (0.8)	5.0 (66.1)	0.9 (11.7)	15.4	4.4 (28.3)	0.1 (0.9)	0.1 (0.3)	9.1 (58.7)	1.8 (11.8)
	요녕 Liaoning	8.1	0.8 (10.0)	0.1 (1.0)	0.0 (0.0)	5.9 (72.1)	1.4 (16.9)	10.4	0.5 (4.5)	0.5 (4.8)	0.0 (0.2)	7.7 (73.9)	1.7 (16.6)
	길림 Jilin	4.2	0.8 (17.9)	0.3 (7.9)	0.0 (0.4)	2.2 (51.3)	0.9 (22.5)	7.9	0.5 (6.6)	0.4 (5.7)	0.1 (1.2)	5.2 (66.3)	1.6 (20.3)
	흑룡강 Heilongjiang	4.7	0.3 (7.3)	0.4 (9.2)	0.0 (0.0)	2.9 (61.1)	1.1 (22.4)	10.9	0.6 (5.9)	0.9 (7.9)	0.0 (0.0)	7.9 (72.2)	1.5 (14.0)
	산둥 Shandong	2.4	0.5 (21.6)	0.2 (7.1)	0.0 (1.7)	1.0 (40.1)	0.7 (29.4)	4.2	0.3 (8.3)	0.6 (15.2)	0.1 (2.0)	1.3 (30.5)	1.8 (44.0)
	허남 Henan	1.8	0.9 (51.0)	0.0 (1.1)	0.0 (2.4)	0.3 (19.9)	0.4 (25.5)	2.6	0.7 (29.2)	0.2 (6.0)	0.1 (3.0)	0.5 (19.7)	1.1 (42.0)
	섬서 Shaanxi	2.4	0.8 (34.6)	0.2 (8.2)	0.2 (8.7)	0.6 (23.8)	0.6 (24.6)	3.6	0.5 (13.6)	0.3 (8.5)	0.3 (8.1)	1.3 (35.6)	1.2 (34.2)
	감숙 Gansu	2.7	1.1 (40.6)	0.0 (0.6)	0.0 (0.8)	1.1 (40.8)	0.5 (17.2)	3.8	1.4 (37.2)	0.0 (1.1)	0.0 (1.1)	1.4 (37.5)	0.9 (23.1)
	청해 Qinghai	3.6	1.1 (30.4)	0.1 (1.5)	1.2 (33.7)	0.6 (16.5)	0.6 (17.8)	4.4	1.6 (37.4)	0.2 (3.5)	0.6 (13.8)	1.0 (22.4)	1.0 (22.9)
	닝하 Ningxia	3.6	1.3 (36.1)	0.1 (1.5)	0.1 (3.5)	1.5 (40.9)	0.7 (18.1)	5.7	0.8 (14.3)	0.1 (1.7)	0.2 (3.6)	3.8 (65.8)	0.8 (14.6)
신장 Xinjiang	5.9	0.7 (12.7)	0.1 (2.2)	0.1 (1.7)	4.4 (74.0)	0.6 (9.4)	11.9	0.8 (7.1)	0.1 (1.1)	0.2 (1.7)	9.8 (82.6)	0.9 (7.5)	

지역 구분	2006년						2011년						
	합계	석탄	석유	천연 가스	열력	전력	합계	석탄	석유	천연 가스	열력	전력	
남 부 지 방	상해 Shanghai	3.6	0.4 (11.8)	0.7 (18.1)	0.2 (6.5)	0.0 (0.4)	2.3 (63.3)	4.0	0.2 (4.9)	0.9 (23.7)	0.3 (7.4)	0.0 (0.4)	2.5 (63.6)
	강소 Jiangsu	1.4	0.1 (6.0)	0.2 (14.6)	0.0 (1.7)	0.1 (3.9)	1.1 (73.8)	2.4	0.0 (0.8)	0.4 (18.2)	0.1 (3.9)	0.1 (4.7)	1.8 (72.4)
	절강 Zhejiang	1.9	0.1 (6.7)	0.4 (19.8)	0.0 (1.4)	0.0 (0.0)	1.4 (72.1)	2.9	0.1 (2.3)	0.6 (20.1)	0.1 (2.9)	0.0 (0.0)	2.2 (74.7)
	안휘 Anhui	1.2	0.5 (40.1)	0.0 (2.5)	0.0 (0.9)	0.1 (11.0)	0.6 (45.6)	2.2	0.3 (12.4)	0.1 (5.1)	0.1 (4.9)	0.6 (28.3)	1.1 (49.3)
	복건 Fujian	2.0	0.5 (24.2)	0.2 (7.7)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	1.3 (68.1)	3.1	0.2 (6.0)	0.3 (9.8)	0.1 (3.7)	0.0 (0.0)	2.5 (80.5)
	강서 Jiangxi	1.0	0.4 (37.4)	0.1 (8.9)	0.0 (0.6)	0.0 (0.0)	0.5 (53.1)	1.2	0.2 (17.6)	0.2 (14.7)	0.0 (2.3)	0.0 (0.0)	0.8 (65.4)
	호북 Hubei	1.5	0.7 (48.2)	0.1 (3.8)	0.0 (1.9)	0.0 (0.0)	0.7 (46.1)	2.4	0.6 (27.3)	0.3 (14.4)	0.1 (2.6)	0.2 (10.3)	1.1 (45.5)
	호남 Hunan	1.2	0.5 (43.5)	0.0 (3.1)	0.0 (0.7)	0.0 (0.0)	0.6 (52.7)	1.8	0.6 (33.7)	0.2 (8.2)	0.0 (2.2)	0.0 (0.0)	1.0 (55.9)
	광둥 Guangdong	1.6	0.1 (5.0)	0.5 (29.3)	0.0 (1.2)	0.0 (0.0)	1.0 (64.5)	2.4	0.1 (3.2)	0.7 (29.1)	0.1 (3.8)	0.0 (0.0)	1.6 (63.9)
	광서 Guangxi	0.7	0.0 (5.6)	0.2 (29.6)	0.0 (1.2)	0.0 (0.0)	0.4 (63.6)	1.4	0.1 (3.7)	0.3 (24.0)	0.0 (2.3)	0.0 (0.0)	1.0 (70.0)
	해남 HaiNan	0.7	0.0 (3.4)	0.1 (17.7)	0.0 (1.2)	0.0 (0.0)	0.5 (77.7)	1.4	0.0 (0.0)	0.3 (22.8)	0.0 (1.7)	0.0 (0.0)	1.0 (75.6)
	충경 Chongqing	1.5	0.4 (27.5)	0.0 (2.3)	0.2 (15.7)	0.0 (0.0)	0.8 (54.6)	2.2	0.5 (22.5)	0.2 (9.3)	0.3 (12.9)	0.0 (0.0)	1.2 (55.3)
	사천 Sichuan	1.2	0.5 (41.5)	0.0 (0.9)	0.2 (17.5)	0.0 (0.0)	0.5 (40.1)	2.2	0.5 (22.2)	0.3 (12.5)	0.4 (19.4)	0.0 (0.0)	1.0 (45.9)
	귀주 Guizhou	2.3	1.8 (80.2)	0.0 (0.5)	0.0 (0.1)	0.0 (0.1)	0.4 (19.1)	2.6	1.5 (56.6)	0.1 (1.9)	0.0 (0.1)	0.0 (0.0)	1.1 (41.4)
	윤남 Yunnan	1.0	0.5 (51.1)	0.1 (5.8)	0.0 (0.3)	0.0 (0.0)	0.4 (42.8)	1.5	0.5 (36.7)	0.2 (12.5)	0.0 (0.3)	0.0 (0.0)	0.8 (50.6)

주: 괄호는 각 에너지원별 1인당 이산화탄소 배출량에서 차지하는 비중임. 자료: 중국 에너지통계연감, 해당연도

탄소 배출량이 차지하는 비중은 오히려 증가하여 2011년에는 60.3%를 차지하고 있다. 이는 전력을 생산하는 데 있어서 아직도 화석연료가 주된 에너지원으로 사용되고 있기 때문으로 풀이할 수 있다.

한편 2006년 지역별 1인당 이산화탄소 배출량이 가장 많은 지역은 천진직할시(10.8톤)였으며, 가장 적은 지역은 광서장족자치구(0.7톤)와 해남성(0.7톤)으로 나타나서 그 격차가 상당히 크게 나타났다. 그러나 이러한 지역 간 격차는 2011년에는 더욱 커졌다. 2011년 1인당 이산화탄소 배출량

이 가장 많은 지역은 내몽골자치구(15.4톤)로 나타났다. 가장 적은 지역은 호남성(1.2톤)으로 약 14.2톤의 차이를 보이고 있다. 지난 6년 동안 1인당 이산화탄소 배출량 증가율이 가장 높은 지역은 흑룡강성(131.9%)로 나타났는데, 이는 주로 열력 소비량 증가(172.4%)에 따른 이산화탄소 배출량 증가라고 풀이할 수 있다.

난방시스템이 없는 남부지방만을 비교해보면 2006년 1인당 이산화탄소 배출량이 가장 많은 지역은 상해직할시(3.6톤)이었으나 2011년 1인당 이산화탄소 배출량이 가장 높은 지역은 여전히 상해

직할시(4.0톤)로 나타났다. 또한 지난 6년 동안 가장 높은 1인당 이산화탄소 배출량 증가율을 나타낸 지역은 광서장족자치구와 해남성인데, 이는 주로 석탄 소비 증가에 의해 이산화탄소 배출량이 증가한 것으로 풀이할 수 있다(표 1).

4. 주거 부문에서의 지역 간 이산화탄소 배출량 격차에 영향을 미치는 요인

1) 모델 설정과 변수 선정

본 연구에서는 30개 성급 행정구역을 대상으로 6년 기간의 패널 데이터를 구축하여 패널모형을 구축하였다. 패널모형의 경우 누락되거나 미관찰 변수의 영향력을 통제할 수 있으므로 신뢰로운 추정 결과를 산출할 수 있다는 장점이 있다. 패널모형으로 나타내면 다음과 같다.

$$y_{it} = \alpha + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (\text{단, } \varepsilon_{it} = \mu_i + \lambda_t + v_{it})$$

여기서 μ_i : 관찰되지 않은 개체특성효과

λ_t : 관찰되지 않은 시간특성효과

v_{it} : 확률적 교란항

이 식에서 관찰되지 않는 효과가 확률적인지(random effect) 아니면 고정된 모수로 가정하는지(fixed effect)에 따라 확률효과모형과 고정효과모형으로 나누어진다. 그리고 패널모형은 개체특성 효과와 시간특성 효과를 구분할 수 있으므로 9개 패널모형이 이론상 가능하다(이희연·노승철, 2012).

확률효과모형과 고정효과모형 중 어느 것이 보다 더 적합한 가를 검정하기 위해서는 하우스만(Hausman) 검정방법이 사용된다. 하우스만 검정 통계량 값은 고정효과모형과 확률효과모형에 의해 추정된 계수의 차이를 검정하여 두 계수 간의

차이가 유의한 것으로 판정되면 고정효과모형에 의해 추정된 계수를 신뢰하게 된다.

본 연구에서는 선행연구를 토대로 하여 가구부문에서 주거 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량에 영향을 주는 요인들을 선정하였다. 지역 간 1인당 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인으로 크게 두 유형으로 구분하여 지역주민의 인구·사회·경제적 특성과 지역환경 특성을 고려하였다. 먼저 지역별 가구의 인구·사회·경제적 특성 변수로는 가구주의 대졸자 비율을 선정하였다. 중국의 경우 지역별 가구의 평균소득 자료가 부재하다는 점을 고려하여 대졸자 비율을 선정하였는데, 이는 가구주의 교육수준에 따른 소득수준을 대리할 수 있는 변수라고 볼 수 있기 때문이다. 즉, 고학력자가 일반적으로 소득이 높기 때문에 에너지를 더 소비하여 이산화탄소 배출량이 많을 것이라고 예상할 수 있다.

또한 1인 가구비율을 선정하였는데, 이는 1인 가구에 비해 다인 가구가 에너지 소비에 있어서 규모경제를 누릴 수 있기 때문이다. 즉, 1인 가구일수록 에너지 소비의 비효율성으로 인해 1인당 이산화탄소 배출량을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 여성이 경제활동에 참가하는 비율이 높을수록 가사노동시간을 감소시키고 주택에 거주하는 시간을 줄이기 때문에 여성경제활동참가율이 높을수록 주거에너지 소비를 줄일 것으로 예상할 수 있다. 또한 고령화 수준을 나타내는 65세이상 인구비율을 변수로 선정하였는데, 이는 65세 이상 고령인구는 다른 연령층에 비해 주택 내에 머무는 시간이 많기 때문에 주거 에너지 소비를 통해 이산화탄소의 배출량을 증가시킬 것으로 예상할 수 있다.

한편 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 지역환경 특성 요인으로는 지역의 물리적 환경을 반영되는 아파트 비율, 지역에 공급되는 에너지원 구조(전체 에너지 소비에서 석탄과 열력이 차지하는 비중), 에너지 비효율성, 지역의 기후 특성(1월 평

균기온, 가구당 에어컨 대수, 난방시설 유무) 변수를 선정하였다. 중국의 경우 지역별 아파트 비율 자료가 부재하기 때문에 본 연구에서는 대리변수로 주거용지 면적당 인구수를 사용하였다. 이는 도시의 주거밀도가 높을수록 단독주택이나 저층주택보다는 고층의 공동주택(아파트)이 공급되었다고 간주할 수 있기 때문이다. 일반적으로 아파트가 단독주택에 비해 열효율이 좋기 때문에 주택에서의 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있다.

한편 중국의 경우 에너지원 구조가 탄소배출량에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 이는 석탄을 직접 사용하여 취사 또는 난방하거나 석탄 등 1차 화석 에너지를 통해 생산된 열력을 사용하여 난방하는 경우 이산화탄소 배출량이 상당히 많아지기 때문이다. 더 나아가 에너지 효율성이 높아서 동일한 단위의 부가가치(또는 지역 내 생산)를 창출하는데 있어서 에너지를 적게 투입할수록 이산화탄소 배출량이 줄어들기 때문에 지역의 에너지 효율성 변수도 매우 중요하다고 볼 수 있다. 한편 중국의 경우 지역별 기온 편차가 매우 심하기 때문에 이산화탄소 배출량의 지역격차 요인을 추출하는데 있어서 기온편차를 통제하는 변수를 투입하여야만 한다. 본 연구에서는 자료 구득성을 고려하

여 1월 평균기온과 가구당 에어컨 대수 변수를 선정하였다. 이는 1월 평균기온이 낮을수록 난방을 위해 석탄과 열력을 사용하게 되며 이산화탄소 배출량이 많아지기 때문이다. 또한 가구당 에어컨 대수는 날씨가 더운 남부지방에서 온도에 따라 에어컨을 사용하여 전력 소비량을 증가시키며, 이는 중국의 경우 이산화탄소 배출량에 상당히 영향을 줄 수 있기 때문이다. 또한 중국의 경우 난방시스템의 유·무에 따라 주거 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량 자체에 상당히 영향을 미칠 것으로 예상되어 본 연구에서는 난방시스템 유·무를 더미 변수화하였다. 본 연구에서 선정한 변수들과 변수들의 산출방법을 요약하면 표 2와 같다.

2) 모형의 추정 과정과 결과

(1) 패널모형의 추정 과정

본 연구에서는 주어진 패널 데이터에 가장 적합한 패널 모형을 추정하기 위하여 순차적으로 모델 검정을 통하여 최종 모형을 설정하였다. 지역 간 가구 부문의 주거 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 추출하기 위해 1인당 이산화탄소 배출량을 종속변수로 하여 앞에

표 2. 패널모형에 선정된 변수 및 변수 설명

영역	변수	산출방법	
종속변수	1인당 이산화탄소 배출량	주거부문의 이산화탄소 배출량/총인구	
독립변수	가구의 인구·사회·경제적 특성	대졸자 비율	(대학교 이상 졸업자 수/6세 이상 인구수)×100
		1인 가구 비율	(1인 가구수/총 가구수)×100
		여성경제 활동참가율	(여성 종사자수/15세 이상 여성 인구수)×100
		노령인구 비율	(65세 이상 인구/총인구)×100
	지역 환경 특성	주거밀도	상주인구수/주거용지 면적
		에너지원 구조	(석탄+열력 소비량/총 에너지 소비량)×100
		에너지 비효율성	에너지 소비량/지역 내 총생산
1월 평균기온	각 성도(省都)의 1월 평균기온		
가구당 에어컨 대수	에어컨 총 대수/가구수		
난방 유무	난방시스템 있는 지역=1, 난방시스템 없는 지역=0		

서 선정한 10개 설명변수를 투입하였다. 본 연구에서는 중국 전체 30개 지역을 대상으로 한 패널 모델 1과 난방시스템이 설치되어 있는 15개 북부 지방만을 대상으로 한 패널모델 2, 그리고 남부지방만을 대상으로 한 패널모델 3을 각각 추정하였다.

패널데이터의 개체효과와 시간효과가 어떠한가를 파악하였다. 이를 위해 먼저 이원패널모형을 토대로 하여 개체를 더미변수로 구성한 후 Chow 검정과 Breusch-Pagan LM 검정을 통해 더미변수를 포함한 고정효과 모델이 합동모델보다 더 적합한가를 판별하였다. 그 다음 단계에서 개체효과와 시간효과에 대해 고정효과와 확률효과의 유의성을 검정하고, 두 효과가 모두 유의한 경우에는 하우스만 검정(Hausman test)을 통해 자료 특성에 적합한 모형을 최종적으로 설정하였다.

이러한 절차를 거쳐 패널모형을 검정한 결과 전국을 대상으로 모형 1, 북부지방만을 대상으로 한 모형 2, 그리고 남부지방을 대상으로 한 모형 3에서 개체효과와 시간효과가 모두 고정효과인 이원 고정효과 모형이 적합한 것으로 나타났다.

그러나 패널분석의 경우 패널모형에서 산출된 추정계수를 풀이하기 전에 반드시 패널모형이 준수하여야 하는 가정(등분산성, 독립성)을 잘 따르고 있는가를 검정하여야 한다. 패널자료는 횡단면 정보와 시계열 정보가 함께 포함되어있기 때문에 개체 간 이분산성(heterogeneity)과 시계열 자기상관성(serial correlation)이 나타날 수 있다. 만약 추정된 패널모형이 두 가지 가정을 준수하지 못한다면 고정효과 모형이나 확률효과 모형을 통해 추정된 계수는 편기되거나 비효율적인 것으로 알려져 있다. 따라서 만일 패널모형이 가정을 준수하지 못하는 경우 효율적인 추정량을 위해서 GLS(generalized least square) 등 다른 추정방법을 사용해야 한다(민인식·최필선, 2009).

본 연구에서는 패널모형에 대한 시계열 자기상관성과 이분산성을 검정한 결과 3개의 패널 모델

모두에서 시계열 자기상관성과 이분산성이 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났다(표 3). 이에 따라 본 연구에서는 이분산성과 자기상관성을 가정하고 패널 GLS 모형으로 추정하였으며, 계수 추정방법은 오차의 분산-공분산 구조가 알려지지 않은 경우 OLS 잔차를 이용하여 추정하는 FGLS(feasible generalized least square) 방법을 사용하였다.

표 3. 패널모형의 가정에 대한 검정 결과

가정 검정	모형 1 (전국)	모형 2 (북부지방)	모형 3 (남부지방)
시계열 자기상관 (Wooldridge test)	12.478***	8.777***	31.197***
이분산성 (Wald test)	4187.15***	655.78***	155.06***

***: 유의수준 0.01에서 유의함

(2) 모델의 추정 결과 및 풀이

패널모형을 이용하여 1인당 이산화탄소 배출량에 영향을 미친 요인을 분석한 결과는 표 4와 같다. 먼저 전국을 대상으로 하여 추정된 결과를 보면 에너지원 구조 변수를 제외하고 모두 통계적으로 유의하게 추정되었다. 가구 특성 요인들의 영향을 보면, 대졸자 비율은 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 고학력자 비율이 높을수록 고소득층이 차지하는 비중이 크다고 간주할 수 있으며, 소득이 높을수록 에너지 소비가 많아지며 따라서 이산화탄소 배출량도 증가됨을 말해준다. 가구규모를 나타내는 1인가구 비율도 양(+)의 부호로 나타났는데, 이는 1인가구의 비율이 높을수록 에너지 소비의 규모경제 효과가 낮아져 1인당 이산화탄소 배출량을 증가시키고 있음을 말해준다. 또한 여성경제활동참가율은 부(-)의 영향력을 나타냈다. 이는 예상대로 여성의 취업 증가가 주택 내에서의 취사 및 활동시간을 줄임으로써 주거 에너지 소비를 감소시키고 있음을 시사해준다. 그러

나 65세 이상 고령인구비율은 양(+)¹⁾의 부호를 보이고 있는데, 이는 고령자들이 젊은 층에 비해 주택 내에 머무는 시간이 많아서 주거 에너지 소비로 인해 이산화탄소 배출량을 증가시킨다고 풀이할 수 있다.

한편 지역환경 특성 요인들을 보면, 아파트 비율의 대리변수로 사용된 주거밀도 변수는 음(-)²⁾의 부호로 나타났다. 이는 주거밀도가 높을수록(고층 아파트 비율이 높을수록) 주택의 에너지 효율이 양호하기 때문에 난방에너지로 인한 이산화탄소 배출량이 감소된다고도 볼 수 있다. 주거밀도는 순인구밀도로 간주될 수 있으며, 이는 고밀·압축도시가 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있다는 선행연구들과 일치하는 결과이다.

에너지 비효율성 변수는 양(+)³⁾의 부호로 나타났다. 따라서 에너지의 효율적인 사용이 이산화탄소의 배출량을 감소시킬 수 있음을 말해준다. 지역의 기후 특징을 나타내는 1월 평균기온은 음(-)⁴⁾의 영향력을 나타내고 있어 추운 지역일수록 따듯

한 남부지방에 비해 석탄과 열력을 사용하는 난방 일수가 길어져서 난방으로 인한 이산화탄소 배출량이 늘어남을 말해준다. 한편 가구당 에어컨 대수는 정(+)⁵⁾의 영향력을 보이고 있는데, 이는 남부지방의 경우 더울 경우 에어컨을 설치하면서 전력 소비량이 늘어나 이산화탄소 배출량을 증가시키게 된다고 풀이할 수 있다. 마지막으로 난방시스템 설치 유·무는 양(+)⁶⁾의 영향을 나타내고 있어 주로 열력으로 인한 중앙 난방시스템의 설비가 이산화탄소 배출에 상당히 영향을 미치게 됨을 말해준다. 따라서 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인을 추출하는 모델을 설정할 경우 난방시스템이 설치되어 있는 지역과 그렇지 않은 지역을 구분하여 분석할 필요가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 중국의 진령-회하를 분계선으로 하여 난방시스템이 설치된 북부의 15개 성(省)과 난방시스템이 없는 남부의 15개 성(省)으로 나누어 각각 패널모형을 설정하여 추정하였다. 그 결과 전국을 대상으로 추정한 결과와 거의 유사하게 추정되었다. 여기서는 전국에 비해

표 4. 패널모형의 추정 결과

요인	변수	구분		
		전국	북부지방	남부지방
가구 특성	대졸자 비율	0.008**	0.008	0.015***
	1인 가구 비율	0.025***	0.037***	0.016***
	여성경제활동참가율	-0.013***	-0.026***	0.000
	65세 이상 인구비중	0.036***	0.117***	0.020*
지역 환경 특성	주거면적당 인구밀도	-0.062**	-0.143***	-0.036
	에너지원 구조	-0.002	0.005**	-0.004***
	에너지 비효율성	0.436***	0.244**	0.563***
	1월 평균기온	-0.023***	-0.031***	-0.014***
	가구당 에어컨 대수	0.442***	0.562***	0.526***
	난방시설 유·무	0.650***		
상수항		5.799***	7.110***	4.440***
사례수(n)		180	90	90

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

차이가 나는 변수들만을 비교하고자 한다. 가구의 대졸자 비율 변수는 북부지방에서는 유의하지 않으나, 남부지방에서는 유의하게 나타났다. 이는 북부지방의 경우 난방은 필수적이지만, 소득에 따라 냉방 및 가전제품 사용으로 인한 전기 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출은 남부지방에 더 유의하게 작용하고 있음을 시사해준다. 반대로 여성 경제활동참가율은 북부지방에서만 유의하게 나타났다. 이는 여성의 경제활동이 늘어나면서 주택 내에서의 조리시간과 난방시간이 감소하게 되는데, 이러한 영향력은 상대적으로 더 추운 북부지방에서 천연가스, 열력 등 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량에 더 유의한 영향을 미친다고 풀이할 수 있다.

한편 지역환경 특성 요인들을 보면 전국을 대상으로 한 추정결과가 거의 유사하게 나타나고 있다. 그러나 주거밀도는 북부지방에서만 유의하게 나타나고 있다. 이는 난방시스템이 설치되어 있는 북부지방의 경우 열력이 각 지역별 환열소에서 집중적으로 공급되는데, 주거밀도가 높은 고층 아파트가 많을수록 주택의 에너지 효율성으로 인해 난방에너지로 인한 이산화탄소 배출량을 감소시키는 효과를 가져온다고 풀이할 수 있다.

한편 지역의 에너지원 구조 변수는 전국에서는 유의하게 나타나지 않았지만 북부지방과 남부지방에서 유의미하게 서로 다른 부호를 보이고 있다. 난방시스템이 설치된 북부지역에서는 양(+)의 부호를 보이는데, 이는 석탄과 열력이 위주인 북부의 에너지원 구조의 특성을 반영한 것이라고 볼 수 있다. 따라서 북부지방에서 이산화탄소 배출의 주원인인 석탄 에너지원의 비중이 줄어들수록 이산화탄소 배출량이 감소될 수 있음을 말해준다. 이와 반대로 난방시스템이 설치되지 않는 남부지역에서는 음(-)의 부호를 나타냈다. 남부지방의 경우 난방시설이 없지만 진령-회하 분계선과 접하는 지역이나 해발고도가 높은 지역에서

는 겨울의 최저 기온이 0℃ 이하로 내려가는 일수가 많다. 이는 같은 위도라도 해발고도에 따라 기온 차이가 나며, 남부지방의 경우 해발고도가 높은 지역들의 경우 석탄과 열력 에너지원이 차지하는 비중이 낮으나, 상대적으로 난방을 위한 전력 소비로 인해 이산화탄소 배출량은 증가하게 된다. 따라서 남부지방의 경우 에너지원 구조로 볼 때, 이산화탄소 배출량을 증가시키는 주원인은 전력 소비라고 풀이할 수 있다. 중국의 경우 여전히 전력의 주된 에너지원으로 석탄을 사용하고 있으므로, 전력 소비에 따른 간접적으로 배출되는 이산화탄소량은 상대적으로 큰 편이다.

지역의 기후특징을 나타내는 1월 평균기온은 북부지방과 남부지방 모두 음(-)의 부호를 나타내고 있어 난방시스템이 설치된 북부지방의 경우 추운 지역일수록 난방에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량은 늘어남을 말해준다. 한편 남부지방에서도 음(-)의 부호를 나타내는 이유는 추운 겨울에 실내온도를 높이기 위해 에어컨(난풍 기능이 포함)을 비롯한 가전제품을 많이 사용하면서 전기 에너지 소비가 많아지며, 전기를 생산하는데 화석연료 사용으로 인해 이산화탄소가 많이 배출되기 때문으로 해석할 수 있다. 가구당 에어컨 대수는 남부와 북부지방에서 모두 양(+)부호를 나타내고 있어 가구당 사용하는 에어컨 대수가 많을수록 전력 소비량 및 이산화탄소 배출량이 늘어나고 있음을 말해준다. 북부지방의 경우 겨울에는 춥고 여름에는 더운 대륙성 기후이기 때문에 겨울에는 열력을 통한 난방에너지를 여름에는 에어컨 사용에 따른 전력을 사용하기 때문에 이산화탄소 배출량이 증가된다고 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구는 중국 성(省)급을 대상으로 가구부문

의 주거 에너지 소비 및 이산화탄소 배출의 지역 격차를 비교하고 격차요인을 추출하는데 목적을 두었다. 중국의 경우 주거 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량 변화 추세는 지역마다 다르게 나타나고 있다. 2006~2011년 동안 북부지방과 남부지방의 이산화탄소 배출량 추세를 보면 난방시스템이 설치되어 있는 북부지방의 1인당 이산화탄소 배출량이 남부 지방에 비해 훨씬 더 빠르게 증가하여 남부지방의 약 1.9배로 나타나고 있다. 이와 같이 가구부문의 주거 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출량의 지역격차는 가구특성에 따른 에너지 소비패턴과 거주지역의 물리적 환경 및 에너지원 공급들이 함께 상호작용하여 나타난 결과라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 30개 성(省)을 대상으로 주거 에너지 소비에 따른 1인당 이산화탄소 배출량을 종속변수로 하여 지역의 가구 특성 요인과 지역환경 특성 요인을 설명변수로 하는 패널분석을 수행하였다. 패널모형을 이용하여 추정한 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저 가구 특성 요인으로 대졸자 비율이 높을수록, 1인 가구 비율이 높을수록, 여성 경제활동참가율이 낮을수록, 그리고 노인인구 비율이 높을수록 1인당 이산화탄소 배출량이 증가되는 것으로 나타났다.

한편 지역환경 특성 요인을 보면 주거밀도가 높을수록, 에너지 효율성이 높을수록, 석탄과 열력이 차지하는 비중이 낮을수록 이산화탄소 배출량을 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 1월 평균기온이 낮을수록, 가구당 에어컨 대수가 많을수록, 난방시스템 설치되어 있는 지역일수록 이산화탄소 배출량이 증가하는 것으로 나타났다.

난방시스템이 설치된 북부지방과 난방시스템이 없는 남부지방을 대상으로 각각 패널모형을 추정한 결과 대졸자 비율과 여성경제활동참가율은 두 지역 간에 그 영향력이 다르게 나타났으며, 주거밀도의 영향력도 북부지방에서만 유의하게 나타났으며 에너지원 구조는 두 지역 간에 유의하게

서로 상반된 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

본 연구 결과를 통해 다음과 같은 시사점을 제공할 수 있다. 첫째, 1인 가구와 노령인구가 증가 추세에 있는 중국도 가구 특성 변화에 따른 주거 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 감소 정책을 모색하여야 할 것이다. 특히 1인 가구 비율이 증가함에 따라 1인당 탄소배출량이 증가한다는 점을 고려하여 1인 가구 특성에 부합되는 적절한 공동 주택(co-housing)을 공급하여 주택 내에서 공동의 생활 공간을 조성함으로써 에너지 소비의 규모경제 효과를 누리도록 하는 것이 바람직하다.

둘째, 지역환경 특성에 부합되는 탄소 저감정책을 수립하여야 할 것이다. 난방시스템이 설치되는 북부지방에서는 주거밀도가 높을수록 이산화탄소 배출량이 감소되는 것으로 나타나고 있다. 이는 추운 북부지방의 경우 단독주택이나 저층 주택보다는 고층 아파트가 차지하는 비중을 높일수록 주택 에너지 효율성으로 인한 것이라고 볼 수 있다. 그러나 지나치게 고층화가 되는 경우 엘리베이터와 같은 수직 이동에 필요한 전기 에너지 소비가 늘어날 수 있을 뿐만 아니라 도시의 열섬효과를 유발할 수도 있다. 따라서 남부지방의 경우 주거 밀도를 높이는 정책은 오히려 전력 소비량을 증가시킬 수도 있다. 따라서 향후 해당지역의 지역환경 특성과 공급되는 에너지원에 따른 탄소배출계수를 고려하여 적절한 주거밀도 계획을 수립하여야 할 것이다.

셋째, 에너지원 구조는 두 지역에 서로 상반된 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 석탄 에너지원의 비중이 높은 북부지방에서는 에너지 소비절감 정책을 수립하는 경우 석탄의 고효율화(탄소배출 저감 기술 등) 정책이 바람직하지만, 전력 소비 비중이 높은 남부지방에서는 전력 소비를 줄이기 위한 소비패턴의 변화를 가져올 수 있는 정책을 수립하는 것이 바람직하다. 무엇보다도 주민의 에너지 절약 의식과 에너지 소비행태의 변화를

가져올 수 있는 다각적인 실천방안을 수립하여야 할 것이다. 특히 주민의 삶의 질을 높이면서도 에너지를 보다 더 효율적으로 생산하고 에너지를 절약하는 소비행태의 변화를 유도할 수 있는 정책을 강구해야 할 것이다.

넷째, 에너지의 비효율성 문제는 가구 부문뿐만 아니라 지역의 산업 부문과 교통 부문 등에 관련되어 있기 때문에 석탄에 상당히 의존하고 있는 중국의 경우 보다 통합적인 차원에서 에너지 효율화 정책을 강화시켜 나가야 할 것이다.

본 연구는 그동안 중국을 대상으로 이루어진 에너지 소비 및 탄소 배출과 관련된 연구들이 산업 부문에 초점을 두어온 것에 비해 가구 부문의 주거 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량에 영향을 미치는 요인들을 가구특성에 따른 생활양식의 차이와 지역환경 요인으로 구분하여 분석하였다는 점에서 의의를 부여할 수 있다. 그러나 패널데이터의 수집의 어려움으로 인해 짧은 기간을 대상으로 하였다는 점과 가구 단위의 미시적 자료의 한계로 인해 유사한 에너지 소비행태를 나타내는 가구 특성을 그룹화하지 못하였고, 집합적 차원에서 지역의 평균 가구특성 변수들이 주거 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량에 미치는 영향을 간접적으로 파악하는데 그쳤다는 연구의 한계점이 있다. 향후 가구의 에너지 소비행태에 관한 상세한 자료가 구축된다면 가구의 생활양식과 거주 지역의 물리적 환경이 결합되어 이산화탄소 배출량에 미치는 다양한 요인들 간의 인과관계 분석에 대한 종합적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

주

1) 중국 대륙지역(대만성, 홍콩, 마카오 제외)의 행정구역은 22개 성(省)과 5개 소수민족자치구(少數民族自治區), 4개 직할시(直轄市)로 구성되어 있음. 그러나 티베트 자치구의 경우 에너지 소비통계가 없기 때문에 티베트를 제외한 30

개 성급 행정단위를 대상으로 하였음.

2) 30개 성급 가운데 해남성과 녕하자치구는 2002년 이전에는 에너지 소비 데이터가 구축되지 않았으며, 일부 설명변수들 가운데서도 연속적으로 패널데이터를 수집할 수 없었기 때문에 2006년부터 2011년까지의 패널데이터를 구축하였음.

3) 본 연구에서는 30개 성급 단위의 에너지 소비량 자료로부터 1인당 이산화탄소 배출량을 산정하기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였음.

첫째, 주거 에너지 소비에 따른 이산화탄소 배출량은 IPCC(1996)가 제시한 에너지원별 이산화탄소 배출량 산정식과 중국국가기후변화대책위원회(2004), 중국국가발전과 개혁위원회(2011)가 제시한 아래와 같은 에너지원별 이산화탄소 배출계수 자료를 이용하였음.

에너지원별 이산화탄소 배출계수

에너지 종류	CO ₂ 배출 계수	에너지 종류	CO ₂ 배출 계수
Raw Coal	2.87	Kerosene	2.10
Other Washed Coal	2.87	Diesel Oil	2.17
Briquettes	2.87	LPG	1.85
Coke	3.16	Refinery Gas	1.96
Coke Oven Gas	1.50	Natural Gas	1.65
Other Gas	1.31	Heat	열력 참조
Gasoline	2.03	Electricity	전력 참조

둘째, 난방용으로 공급되는 열력의 경우 투입된 에너지원에 따라 이산화탄소 배출계수가 달라질 수 있음. 본 연구에서는 지역별로 열력에 의한 이산화탄소 배출량을 산정하기 위해 지역별 에너지원별 소비량과 각 에너지원별 이산화탄소 배출계수, 그리고 에너지원별 연소율을 곱하여 산출하였음(중국의 경우 열력의 1차 에너지원을 보면 전국적으로 볼 때 석탄이 95%를 차지하며, 북부지방의 요녕성의 경우 99%를 석탄을 이용하여 열력을 생산하고 있음).

셋째, 전력의 경우 전력을 생산하기 위해 투입된 에너지원별에 따라 이산화탄소 배출계수가 달라지게 되며, 중국의 경우 지역별로 전력단위당 이산화탄소 배출계수를 아래 표와 같이 제공하고 있음.

지역별 전력의 이산화탄소 배출계수

지역	CO ₂ 배출계수 (kg CO ₂ /kwh)
화동	1.246
동북	1.096
화북	0.928

지역	CO ₂ 배출계수 (kg CO ₂ /kwh)
화중	0.801
서북	0.977
남방	0.714

출처: 국가발전 및 개혁위원회, 2011, 『중국 성급 온실가스 명세서 편성 지침』

참고문헌

- 민인식·최필선, 2009, STATA 패널데이터분석, 한국 STATA학회.
- 서현철·홍원화·남경목, 2012, “거주자 구성유형 및 소득 수준에 따른 주거용 건물 내 전력소비성향”, 한국 주거학회 논문집 23(6), pp.31-38.
- 이희연·노승철, 2012, 고급통계분석론, 법문사: 파주.
- 임기추·강윤영, 2004, 생활양식이 가정 부문 에너지 소비에 미치는 영향 분석, 에너지경제연구원.
- Bin. S. and Dowlatabadi, H., 2005, “Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions”, *Energy Policy* 33, pp.197-208.
- Brandon, G. and Lewis. A., 1999, “Reducing household energy consumption: a qualitative and quantitative field study”, *Journal of Environmental Psychology* 19, pp.75-85.
- Chen. J. Y., Peng. Z. Z. and Zhu. Q., 2009, “Impacts of household pattern on carbon emission”, *Chinese Journal of Population Science* 5, pp.68-78 (in Chinese).
- Druckman A. and Jackson. T., 2009, “The carbon footprint of UK households 1990-2004: a socio-economically dis-aggregated, quasi-multi regional input-output model”, *Ecological Economics* 68, pp.2066-2077.
- Erling H. and Ingrid 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* 42(12), pp.2145-2166.
- Ewing, R. and Rong, F., 2008, “The impact of urban form on US residential energy use”, *Housing Policy Debate* 19(1), pp.1-29.
- Fan. J. and Li. P. X., 2011, “Analysis on the future energy consumption and preliminary discussion on carbon emission of China from the perspective urbanization”, *Advances in Earth Science* 26(1), pp.57-65 (in Chinese).
- Feng. Z. H., Zou. L. L. and Wei. Y. M., 2011, “The impact of household consumption on energy use and CO₂ emissions in China”, *Energy* 36, pp.656-670.
- 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* 6(2), pp.395-402.
- Glaeser, E. and Kahn. M., 2010, “The greenness of cities : carbon dioxide emissions and urban development”, *Journal of Urban Economics* 67(3), pp.404-418.
- He. R. F., Niu. S. Y. and Jia. Y. Q., 2012, “Panel data analysis of per capita household energy consumption, income and carbon emissions”, *Resources Science* 34(6), pp.1142-1151 (in Chinese).
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
- Jin. H., 2012, “Analysis on the urbanization, household consumption and carbon emission Based on dynamic panel data”, *The Probe* 2, pp.79-81 (in Chinese).
- Li. Y., Huang. X. J. and Zhen. F., 2008, “Effects of land use patterns on carbon emission in Jiangsu Province”, *Transactions of the CSAE*, 24(2), pp.102-107 (in Chinese).
- Lin. B. Q. and Liu. X. Y., 2010, “China’s carbon dioxide emissions under the urbanization process: influence factors and abatement policies”, *Economic Research Journal* 8, pp.66-78 (in Chinese).
- 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* 35, pp.347-357.

- Niu, S. Y., Zhao, C. S. and Zhang, X., 2010, "Characteristics of household energy consumption and emissions reduction of structure conversion in Lanzhou city", *Resources Science* 32(7), pp.1245-1251 (in Chinese).
- O'Neill, B. and Chen, B., 2002, "Demographic determinants of household energy use in the United States", *Population and Development Review* 28, pp.53-88.
- Pachauri S. and Spreng D., 2002, "Direct and indirect energy requirements of household in India", *Energy Policy* 30, pp.511-523.
- Peng, X. Z. and Zhu, Q., 2010, "Impacts of population dynamics and consumption pattern on carbon emission in China", *Population Research* 34(1), pp.48-58 (in Chinese).
- Qin, B. and Han, S. 2013, "Planning parameters and household carbon emission: evidence from high and low-carbon neighborhoods in Beijing", *Habitat International* 37, pp.52-60.
- Reinders A., Vringer K. and Block, K., 2003, "The direct and indirect energy requirement of households in the European Union", *Energy Policy*, 31(2): 139-153.
- Schipper, L., Bartlett, S., Hawk, D and Vine, E., 1989, "Linking life-style and energy use: a matter of time?", *Annual Review of Energy* 14, pp.273-320.
- Wang, F., Wu, L. H. and Yang, C., 2010, "Driving factors for growth of carbon dioxide emissions during economic development in China", *Economic Research* 2, pp.123-136 (in Chinese).
- Wang, Y. and Shi, M. J., 2009, "Energy Requirement Induced by Urban Household Consumption in China", *Resources Science* 31(12), pp.2093-2100 (in Chinese).
- 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* 35, pp.247-257.
- Williams, E. and Matthews, H., 2007, "Scoping the potential of monitoring and control technologies to reduce energy use in homes", *Electronics & the Environment, Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium*, 239-244.
- Xu, G. Q., Liu, Z. H. and Jiang, Z. Y., 2006, "Decomposition model and empirical study of carbon emissions for China, 1995-2004", *China Population Resources and Environment* 16(6), pp.158-161 (in Chinese).
- Yang, X. M., Ge, Y. S. and Zeng, H. Y., 2010, "The household carbon emission analysis under individual consumer behavior", *China Population, Resources and Environment* 20(5), pp.35-40 (in Chinese).
- 교신: 이희연, 151-742 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교환경대학원, 전화: 02-880-9322, 이메일: leehyn@snu.ac.kr
- Correspondence: Hee Yeon Lee, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, 1 Gwanangno, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea, Tel: 82-2-880-9322, E-mail: leehyn@snu.ac.kr

최초투고일 2013년 5월 1일
수정일 2013년 5월 26일
최종접수일 2013년 5월 30일