

탄소은행제의 가정용 전력수요 절감 효과 분석)

배정환* · 김미정** · 정해영***

요약

본 연구는 광주광역시에서 실시하고 있는 탄소은행제가 가정용 전력수요 절감에 유의한 영향을 미치는지를 계량경제모형을 이용하여 분석하였다. 2010년 광주시 탄소은행제 가입가구를 대상으로 탄소은행제 가입기간, 탄소 포인트, 그린카드 발급여부가 가정용 전력수요에 미치는 영향을 분석하였다. 이분산성을 감안한 OLS 추정 결과 전기요금 및 탄소 포인트는 전기소비와 역 U자형의 관계에 있고, 탄소은행제 가입기간과 전력소비간에는 역 N자 형태를 보였다. 또한 그린카드 발급은 전력 소비절감에 유의하게 기여하는 것으로 나타났다. 향후 탄소은행제 개선을 위해 피크부하를 기준으로 탄소포인트를 지급하고, 그린카드 적용 대상 상품과 서비스의 확대를 제안하였다.

주요 단어 : 탄소은행제, 가정용 전력수요, 탄소포인트, 그린카드

경제학문헌목록 주제분류 : Q4, Q5

* 교신저자, 전남대학교 경제학부 부교수, e-mail: jhbae@jnu.ac.kr

** 전남대학교 일반대학원 경제학과 박사과정, e-mail: love-green27@hanmail.net

*** 전남대학교 일반대학원 경제학과 박사과정, e-mail: hywind13@gmail.com

I. 서 론

전 세계는 기후변화에 대응하기 위해 온실가스 감축을 위한 국제적 협력을 강화해오고 있다. 1997년에 체결되고 2005년부터 발효된 교토의정서(Kyoto Protocol)는 산업혁명 이후 온실가스 배출의 역사적 책임이 있는 선진국 38개국을 대상으로 2008년부터 2012년까지 제1차 공약기간동안 1990년도 배출량 대비 평균 5.2% 감축을 규정하였다. 이후 2015년 파리 기후변화 당사국 총회에서는 교토메카니즘 이후 신기후체제에 대해 합의하고, 이에 대한 실행방안으로 세계 각국이 2030년까지 온실가스 감축 목표와 이행방안을 담은 '자발적 기여 방안 (INDC: Intended Nationally Determined Contributions)'을 합의하였다.

우리나라는 교토체제 하에서 의무감축국가에 포함되지는 않았으나 2015년 기후당사국 총회에서 2030년까지 온실가스 배출량을 BaU 대비 37% 감축하겠다고 발표한 이후 탄소배출권 거래시장, 발전부문 신재생에너지 의무화제도(RPS), 수송부문 신재생연료의무화 제도(RFS) 등을 통해 온실가스 감축 노력을 하고 있다. 온실가스 배출을 줄이기 위해서는 에너지 절약과 화석연료 사용에 대한 의존도를 줄여나가는 것이 중요한데 2012년 기준 우리나라의 에너지 소비량은 세계 8위, 에너지의 해외의존도 96%, 전력 소비량은 8위, 온실가스 배출량이 세계 12위로 세계 15위인 경제규모에 비하면 상당히 높은 수준이다. 그러나 해외의존도가 높은 에너지 공급구조에서 벗어나기 어렵기 때문에 에너지 절약 및 효율 향상을 위한 정책과 제도 보급에 의한 수요 관리 방안이 중요하다. IEA(2009) 역시 온실가스 감축량의 약 57%가 에너지 절약

및 효율 개선을 통해 달성될 수 있다고 강조하고 있다.

우리나라 주요 에너지수요관리 정책으로는 온실가스·에너지 목표관리제¹⁾, 대·중소기업 간 그린 크레딧 제도²⁾, 에너지 절약전문기업 (ESCO)사업³⁾ 등이 있다. 또한 건물부문에서는 건축물 에너지효율등급인증⁴⁾, 친환경주택 성능평가⁵⁾ 등을 시행하고 있으며, 수송부문은 자동차 에너지소비효율 및 등급⁶⁾ 제도를 시행하고 있다.

온실가스 감축에 있어서 가정·상업 부문은 생활패턴 변화만으로도 감축이 상대적으로 용이하며 비용대비 효과도 즉각적으로 나타날 수 있다. 국립환경과학원(2011)은 녹색생활로 줄일 수 있는 온실가스는 2,560만톤 정도로 비산업부문 총 잠재량의 34.8%라고 발표하였다. 가정·상업부문 에너지 수요관리정책의 일환으로 2008년부터 환경부는 ‘비 산업부문 온실가스 감축가이드라인 보급 및 확산’ 사업을 시작하였다. 이를 위해 지자체별로 온실가스 감축목표를 설정하고 녹색건축물 인증제⁷⁾ 도입, 에코 마일리지제⁸⁾ 등 다양한 분야에

- 1) 온실가스·에너지 목표관리제는 온실가스를 많이 배출하고 다량의 에너지를 소비하는 대규모 사업장에 대해 온실가스 감축과 에너지 절약 목표를 기업과 정부가 협의·설정하고 인센티브, 패널티 등을 통해 효율적으로 관리하는 제도이다. (<http://www.gir.go.kr/>)
- 2) 그린 크레딧(Green Credit) 제도는 대기업이 중소기업의 온실가스 감축을 위해 기술·자금을 지원하고 이를 통한 중소기업 온실가스 감축 실적 중 일부를 대기업의 실적으로 인정하는 제도이다.
- 3) 에너지절약 전문기업(Energy Service Company) 사업은 제 3자의 에너지 사용시설에 투자한 후 이에 따른 에너지 절감액(성과)으로 투자비를 회수하는 제도이다. (<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=299665&cid=43665&categoryId=43665>)
- 4) 건물 에너지효율 등급 인증은 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위해 난방, 냉방, 급탕 등 에너지 소요량과 이산화탄소 발생량을 평가하여 에너지 성능에 따라 10개 등급으로 인증하는 제도이다. (http://www.kemco.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency/building_02.asp)
- 5) 친환경 주택 성능평가는 에너지절약형 친환경주택을 건설하기 위해 주택사업 승인시 주택의 총 에너지사용량 또는 CO₂ 배출량을 고려하여 사업 승인 여부를 결정하는 제도이다. (http://www.kemco.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency/building_04.asp)
- 6) 자동차 에너지소비효율 및 등급 표시 제도는 자동차를 에너지소비효율에 따라 1~5등급으로 표시해 소비자가 차량 구입시 에너지절약형임을 손쉽게 판단하고 자동차 제조업자는 에너지 절약형 자동차를 개발하도록 유도하는 제도이다.
- 7) 녹색건축인증제도(green standard for energy and environmental design)는 인간과 자연이 서로 친화적으로 공생할 수 있도록 계획도나 건축물의 입지, 자재선택 및 시공, 유지

서 감축을 위한 사업들을 실행하고 있으며 중앙정부는 온실가스 감축시설 비용을 지원하고 있다.

한편 지자체의 경우 광주광역시는 2008년 4월에 환경부와 기후변화 대응 시범도시 협약을 체결하고, 2015년까지 2005년 온실가스 배출량의 10%인 661천톤을 감축할 계획을 수립했다. 탄소 배출량을 부문별로 보면 가정·상업부문 39%, 수송부문 33%, 산업부문 22%, 공공 및 기타부문 6%로 가정·상업부문의 온실가스 감축이 가장 높게 할당되었다.

본 연구는 가정·상업부문의 온실가스 감축 수단으로 광주광역시에서 2008년부터 시행하고 있는 온실가스 배출 저감 프로그램인 탄소은행제도⁹⁾의 전력 수요 절감효과를 평가하였다. 탄소은행제에 참여한 가구의 다양한 특성을 반영하여 가정용 전력수요모형을 구축하고, 탄소은행제의 주요 메커니즘이 전력 수요 절감에 얼마나 기여했는지를 실증 분석함으로써 탄소은행제도가 보완되어야 할 요소들은 무엇이고, 향후 발전 방향은 어떻게 수립해야 하는지를 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 우선 다음 장에서 가정용 전력수요에 대한 선행연구들을 요약하고, 가정 부문 에너지절약정책을 평가한 연구들을 비교, 분석하였다. 제3장에서는 분석에 사용된 데이터와 변수들을 설명하고, 제4장에서는 추정모형과 추정결과를 정리하였고, 제5장에서는 결론과 정책적 시사점을 도출하였다.

관리 등 건축의 전 생애를 대상으로 환경에 영향을 미치는 요소에 대한 평가를 통하여 건축물의 환경성능을 인증하는 제도이다.

(<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2180447&cid=43667&categoryId=43667>)

8) 에코마일리지는 가정에서 전기, 수도, 도시가스의 사용량 절감에 따른 온실가스 감축실적에 따라 탄소포인트를 산정하고 인센티브를 제공하는 온실가스 감축 실천 프로그램이다. (<http://www.ecomoney.co.kr>)

9) 탄소은행제도는 가정, 상업 시설의 전기, 가스, 수도 등 에너지 사용 절감량에 대한 인센티브를 제공하는 시민참여형 기후변화대응 프로그램이다.

II. 선행연구

탄소은행제가 가정용 전력수요에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 가정용 전력수요 모형을 우선 구축해야 하며, 이에 관한 선행연구를 요약하면 다음과 같다.

해외에서는 1951년 Houthakker 연구를 시작으로 Halversen(1975), Dubin & McFadden(1984)을 비롯하여 최근에도 활발하게 가정용 전기수요모형에 관한 연구가 진행되고 있다. 전력수요모형은 추정방법에 따라 시계열 자료를 이용해 거시적으로 분석하는 방법과 설문조사 등을 이용해 얻은 횡단면 자료 또는 패널자료를 이용해 미시적으로 분석하는 방법으로 나뉘어진다.

시계열 자료를 이용한 연구인 Narayan and Smyth(2005)에서는 공적분 관계를 이용한 ARDL(Autoregressive-Distributed Lag)모형을 사용하여 호주의 장·단기 가정용 전력수요탄력성을 추정하였다. 분석결과 소득과 전력 가격이 가정용 전력 수요의 가장 중요한 결정요인이며, 냉난방도일은 ARDL 모형에서는 유의하게 나타났지만 오차수정모형에서는 유의하지 않았고, 대체재인 천연가스 요금도 유의하지 않게 나타났다. 또한 수요의 소득탄력성 및 가격 탄력성을 추정한 결과 단기의 경우 장기 탄력성보다 더 작게 나타났다.

한편 국내에서도 1990년대부터 지속적으로 가정용 전력수요에 관한 연구가 이루어지고 있다. 우선 Jung(1993)의 연구에서는 에너지경제연구원(KEEI)에서 부문별로 3년마다 수행하는 에너지총조사를 통해 수집한 9,000 가구 이상의 가정용 부문 데이터를 사용해서 순서형 로짓모형(Ordered logit model)을 이용해 가정용 전력수요를 추정하였다. 가구별 행동패턴을 파악하기 위해 전력 사용이 급증하는 8월과 상대적으로 전력 사용이 많지 않은 4월을 선정해

서 분석하였다. 분석 결과 가구별 월 소득, 거주 공간의 면적, 가족 구성원 수, 가전제품 기기의 수가 많을수록 전력 수요가 늘어나는 경향이 있는 것으로 나타났다.

임기추·강운영(2004)은 생활양식의 다양한 요인들 즉 여가의 증대, 고령화 등이 가정부문 에너지 소비에 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 위해 각 생활양식의 유형별 에너지소비 변화 시나리오를 설정하고 설문조사를 실시하였다. 분석 결과 여성의 사회진출, 여가의 증대와 같은 생활양식의 변화는 가정 내 평균 대비 에너지 소비 및 온실가스 배출을 각각 1.3%와 0.6%씩 감소시킨 것으로 나타났다.

임현진·정수관·원두환(2013)은 1996년부터 2011년까지 시계열 자료를 ARDL모형과 오차수정모형을 이용해 지구 온난화 요인이 가정용 전력 수요에 미치는 영향을 장·단기로 나누어 분석하였다. 분석 결과 가정용 전력 수요는 냉방도일에는 영향을 받으나 난방도일에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 전력수요에 미치는 영향은 단기보다 장기적으로 더 크게 나타났다.

서정출(2014)은 1980~2013년 기간 동안 16개 시·도의 패널자료를 이용하여 소득과 전력가격뿐만 아니라 고령화라는 인구학적 변화가 전력 수요에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 소득수준이 낮은 지역의 주거용 전력 수요의 소득탄력성이 높게 나타났고, 물가수준이 상대적으로 다른 지역에 비해 낮은 지역의 주거용 전력 수요의 가격탄력성이 높게 나타났다. 또한 65세 이상의 고령인구가 많은 지역에서 전력수요가 증가한다는 점에서 도시화 수준이 낮은 지역일수록 전력 가격에 민감하다고 주장하였다.

전력수요 연구의 또 다른 유형인 횡단면 자료를 이용한 연구는 국가 전체나 지자체별로 수집한 시계열자료보다는 자료수집에 어려움이 따른다. 그렇지만 거시적인 측면이 강한 시계열자료를 이용한 연구들이 제공하는 정보의 측면에서는 분명 한계가 존재하고 또한 개인별 특성이 가미된 정보를 통해서야 완전한 가정용 전력수요를 추정할 수 있기 때문에 많은 연구들에서 설문조사 등의 방법을 이용해 미시적인 형태로 분석하고 있다.

우선 나인강·손양훈(1999)의 연구는 에너지 총조사 자료를 이용해 냉방기 보유 효과를 가정용 전력수요함수에 관한 연립 방정식을 이용하여 분석하였다. 분석결과 전기기기 보유 대수가 전력소비 결정에 주요한 역할을 하는 요인임을 밝혔으며 횡단면 자료를 이용하여 개별 소비주체의 행위를 분석하였다는 점에서 의미 있는 연구라고 하겠다.

이주석·유승훈·곽승준(2007)은 서울시 380가구를 대상으로 한 설문조사에 기초하여 전력수요함수를 추정하고 전력수요의 결정요인을 분석하였다. 분석결과 가족 구성원 수가 많을수록, 주택면적이 넓을수록, 전자기기 제품이 많이 소유할수록, 여름에 전력 소모가 많은 가구일수록 전력사용량이 많은 것으로 나타났다. 또한 전력수요는 가격과 소득에 비탄력적으로 반응하였다.

노정녀(2014)는 2008년 가정용 전력사용 통계 자료를 이용하여 가구 구성원 및 거주 주택의 특성이 가정용 전력 수요에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 가구 소득이 높아지면 전력 사용량이 증가하지만, 소득이 일정 수준을 초과하면 소득이 늘어나도 전력 사용량은 증가하지 않는 것으로 나타났다. 또한 주택의 방 개수, 크기, 건축연도, 형태가 전력 사용량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

선행연구를 요약하면 전력 요금과 소득이 가정용 전력수요의 주요결정요인으로 사용되었고, 대체재인 천연가스 요금(Narayan and Smuth, 2005; Al-Faris, 2002)을 비롯하여 난방도일, 냉방도일, 주거공간의 면적, 가족 구성원 수, 전기기기 보유 대수 등도 설명변수로 포함되었다. 본 연구는 선행연구에서 사용했던 주요 결정요인들과 탄소은행제와 관련된 정책 변수들을 결합하여 탄소은행제가 가정용 전력소비에 미치는 영향을 분석했다는 점에서 선행연구들과 차별화된다.

한편 탄소 은행제가 광주에서 처음 실시된 후 2010년부터 여러 자치단체에서 유사한 제도들이 시행되고 있지만, 이러한 제도들이 에너지 절감에 효과적 인지에 관한 실증연구는 거의 없는 것으로 파악된다. 대부분의 선행연구들은 기초통계자료를 이용하거나 설문조사를 통해 탄소 은행제 도입방안 및 개선

방안에만 초점을 맞추어 진행되어 왔다. 김정수 외(2010)는 대학 캠퍼스의 에너지 소비실태 조사를 통하여 탄소 인센티브 제도 도입가능성을 연구하였다. 에너지 다소비 기관인 대학을 대상으로 교내뿐만 아니라 대학생 자취지역을 대상으로 배출량을 조사하여 캠퍼스형 탄소 인센티브 제도를 제시한 점에서 의의가 있다.

변병설 외(2012)는 탄소 은행제 가입세대의 지역적 분포 및 시나리오별 포인트 지급기준과 탄소 은행제 현황을 분석한 결과, 지역마다 참여세대의 편차가 매우 심한 것으로 나타나 가입편차의 해소방안이 필요하다고 주장하였다. 또한 탄소 은행제의 운영재원이 참여세대가 증가함에 따라 지자체의 부담으로 작용하고 있어 이에 대한 재원확보 방안이 필요한 것으로 나타났다. 또한 포인트 지급기준의 경우 지급구간의 세분화 및 포인트 지급가구 비율이 증가하도록 지급기준의 설정이 필요하다고 주장하였다.

안창희(2012)는 탄소 은행제 참여자와 비참여자의 환경의식 및 환경실천 차이, 탄소 은행제 참여자를 대상으로 만족도 및 이용실태, 탄소포인트제 비참여자들의 특성분석, 탄소 은행제 참여에 영향을 주는 변수를 파악하였다. 한편 고재경(2010)은 탄소 은행제의 성과와 문제점을 평가하기 위해 경기도 시·군 담당 공무원을 대상으로 설문조사를 하였다. 그 결과 탄소 은행제는 지자체 녹색 성장과 시민의식 향상보다는 시민들의 녹색생활실천 향상에 더 높은 효과가 있는 것으로 나타났고, 탄소 은행제 참여자 중 개별가구에 비해 단체 가입의 온실가스 감축비율이 높게 나타났다. 또한 탄소 은행제 추진의 애로사항으로 시민인식 및 참여부족이라고 주장하였다.

가장 최근에 이루어진 정해영·배정환(2015)의 연구는 본 연구와 가장 유사한 연구로 광주시 탄소은행제의 효과를 분석하기 위해 가정용 전력수요에 관한 월간 시계열 자료를 구축하고, 오차항 수정모형인 FM-OLS (Fully Modified Ordinary Least Square)를 이용하여 가정용 전력수요를 추정하였다. 추정 결과 탄소은행제는 가정용 전력수요를 구조적으로 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

한편 국외 논문에서는 에너지수요관리정책의 변화가 산업용뿐만 아니라 가정용 에너지 수요에 어떤 영향을 미치는지에 대한 논의가 활발한 반면 국내의 경우 정해영·배정환(2015) 연구 외에는 정책적 변화가 에너지수요에 어떤 영향을 미쳤는지에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 탄소 은행제가 가정용 전력수요에 어떠한 영향을 미쳤는지 분석하고, 경제적 유인정책의 일환인 그린카드 발급과 탄소 포인트라는 인센티브가 제대로 작동했는지를 평가하였다는 점에서 관련 선행연구에 기여하였다.

Ⅲ. 데이터와 변수

본 연구는 2010년 기준 광주시 자치구별 탄소은행 참여세대의 전력 소비량, 전력 요금, 참여세대가 거주하는 아파트 전용면적, 전력소비 절감량에 대한 탄소 포인트, 탄소 은행제 가입기간, 그린카드¹⁰⁾ 발급여부, 도시가스 요금을 변수로 사용하였다. 우선 2010년 탄소 은행제에 참여한 세대는 60,248세대로 이중 공동주택에 거주하는 세대는 58,081세대이며 단독주택에 거주하는 세대는 2,167세대이다. 가구 소득은 전력 소비량을 결정하는 중요한 요인이지만, 탄소은행제 참여 가구의 소득 자료가 없어서 가구별 전용 거주면적을 소득의 대리변수로 사용하였다. 단독주택의 전용면적은 자료 수집이 어려워 아파트 거주자만을 분석대상으로 선정하였다. 데이터의 유효성 및 이상치(outlier) 검토 후 최종 55,428세대를 분석 대상으로 확정하였다.

2010년 가정용 전력 소비량 자료는 광주시에서 제공한 탄소 은행제 참여세대 및 감축실적에 대한 자료를 활용하였다. 본 연구에서 사용된 변수 중 2010년 전력 요금 변수는 한국전력공사 홈페이지¹¹⁾에 공시된 주택용 전력 사용량

10) GCARD(그린카드)는 신용카드의 포인트 제도를 활용하여 에너지 절약, 녹색제품 구매 등 녹색생활 실천 시 정부, 지자체, 기업 등에서 포인트를 지급하는 카드이다.

별 전력요금표를 기준으로 계산하여 정리하였다. 2010년 도시가스 요금 역시 실제사용량에 한국가스공사 홈페이지¹²⁾에 공시된 2010년 도시가스용 천연가스 요금표를 이용하여 계산하였다¹³⁾. 탄소 은행제 가입연도는 2010년 12월 기준으로 가입기간을 계산하였다. 즉 2010년 7월에 가입했다면 실제 가입기간은 5개월이 된다. 전용 거주면적은 탄소 은행제 가입자의 주소를 기준으로 다음 (Daum) 부동산 사이트¹⁴⁾의 매물·시세에서 제공하는 아파트 전용면적을 사용하였다.¹⁵⁾ 그린카드의 경우 카드를 발급받은 세대는 1, 발급받지 않은 세대는 0으로 하는 더미변수로 고려하였다¹⁶⁾. 그린카드를 이용하여 에너지 절감분에 대한 탄소포인트나 그린교통포인트를 적립할 수 있고, 녹색소비제품 구매시 에코머니를 적립하여 현금처럼 사용할 수 있다. 전력 절감으로 발생한 탄소포인트는 현재 전력사용량을 기준년도 전력사용량보다 5%이하 절감시 1kwh 당 50원, 5% 초과 절감시 1kwh 당 70원을 지급한다.

<표 1>의 기초 통계량을 살펴보면, 2010년 탄소은행제 참여가구의 전력 사용량은 연평균 2,569kwh 를 나타냈고, 전력요금은 각 세대별로 연평균 445,429원 정도를 지출하는 것으로 나타났다. 또한 기준년도 대비 전력 감축을 통해 얻은 포인트는 각 세대당 연평균 10,449원 정도로 나타났고, 탄소은행제 참여세대의 평균 가입기간은 16.71개월로 나타났다. 그린카드 발급여부는 발급받은 세대는 14%, 발급받지 않은 세대는 86%로 나타났고, 전용면적의 평균은 75.4m², 도시가스 요금은 연평균 311,013원으로 나타났다.

11) 한국전력공사 홈페이지(www.kepco.co.kr) 2015년 3월 26일 조사

12) 한국가스공사 홈페이지(www.kogas.or.kr) 2015년 3월 26일 조사

13) 가스공사 홈페이지에 게시된 도시가스 요금표는 도매요금 기준이다. 소비자 요금은 도매요금에 지역별 도시가스회사 소매공급비용과 부가가치세가 추가된다. 그러나 이러한 추가비용은 분석모형의 가스요금변수의 계수에만 일부 영향을 미칠 뿐 전체 분석결과에는 큰 영향이 없기 때문에 도매요금을 도시가스 소비자 요금의 대리변수로 사용하였다.

14) 다음 부동산 홈페이지(realestate.daum.net)에서 2015년 4월 1일부터 2015년 5월 20일까지 조사하였다.

15) 아파트 면적은 크게 전용면적과 공급면적으로 설명할 수 있는데, 아파트 크기를 소득 대리변수로 사용한 만큼 본 연구에서는 전용면적과 공용면적을 합한 공급면적보다는 실제 거주자들이 독점해 사용하는 부분의 면적인 전용면적을 기준으로 하였다.

16) 탄소은행제에 가입한 가구이더라도 그린카드 발급이 의무는 아니다.

〈표 1〉 기술 통계량

변수	평균	표준편차	최소값	최대값
전력사용량(<i>kwh</i>)	2,569	1,524	0	12,107
전력요금(원)	445,429	378,877	0	6,100,000
탄소포인트(원)	10,449	25,775	0	382,480
가입기간(개월)	16.71	11.08	0	35
그린카드 발급여부	0.141	0.348	0	1
전용면적(m^2)	75.4	23.5	24	221.9
2010년 도시가스요금(원)	311,013	290,131	0	4,100,000

IV. 모형 및 추정 결과

1. 모형 및 추정방법

탄소은행제의 효과를 분석하기 위해 광주시 가정용 전력수요에 관한 계량 모형을 설정하였다. 선행연구에서 조사된 다양한 설명변수를 토대로 구축된 가정용 전력수요 모형을 이분산성을 감안한 OLS에 의해 추정하였다. 모형에 포함된 설명변수로는 전력요금, 거주지 전용면적, 도시가스요금, 거주 아파트 설립연도, 거주 층수, 아파트 전체 층수, 적립된 탄소포인트, 그린카드 발급여부, 탄소은행제 가입기간이다. 가정용 전력요금은 사용량별로 요금체계가 다르게 설정되어 있기 때문에 각 가구별 연간 전력요금 납부액을 연간사용량으

로 나누어 구했다. 통상 가격과 수요량은 음의 관계에 있지만 가정용 전력요금의 경우 사용량 구간별로 초반에는 낮지만 사용량이 늘어날수록 누진요금제가 적용되기 때문에 반드시 모든 구간에서 음의 관계를 갖지 않는다. 따라서 전력요금과 전력수요는 비선형 관계일 가능성이 높다. 이를 감안하기 위해 전기요금의 이차항을 모형에 포함시켰다.

전력이라는 재화의 수요함수에서 가격과 더불어 가장 중요한 변수는 소득인데 탄소은행제 가입가구들에 대한 소득 자료가 없어서 거주 아파트의 전용면적을 대리변수로 사용하였다¹⁷⁾. 통상 전용면적이 클수록 소득 수준이 높을 것으로 볼 수 있다. 소득이 증가하면 전력수요도 증가할 것으로 예상되지만 전용면적의 경우 반드시 그렇지 않을 수 있다. 즉 전용면적이 적더라도 노인이나 어린 자녀들이 있는 경우 다른 가구보다 전력사용량이 많을 수 있고, 전용면적이 크더라도 아이가 없는 맞벌이 부부라면 전력사용량이 낮을 수 있다.

도시가스요금이 설명변수로 포함된 이유는 에너지원으로서 전기와 대체 또는 보완관계에 있을 수 있기 때문이다. 도시가스요금의 추정계수가 음의 값을 가지면 전기와 보완관계에 있고, 양의 값을 가지면 대체관계에 있다고 볼 수 있다.

거주 아파트 설립연도의 경우 노후 아파트일수록 에너지 효율이 떨어질 수 있는 반면에 첨단 시설을 갖춘 최신형 아파트의 경우 에너지 소모량이 기존 아파트보다 많을 수 있다는 점에서 선형적으로 추정계수가 어떤 부호를 가질지 예측할 수는 없다. 또한 거주 아파트의 층수 및 아파트 전체 층수도 설명변수로 포함시켜 아파트의 물리적 특성이 전력 수요에 영향을 미치는 지를 보고자 한다. 이 역시 아파트 설립연도와 마찬가지로 선형적으로 부호를 예측할 수는 없다. 이와 같은 거주지의 다양한 물리적 특성을 가정용 전력수요함수에 반영한 연구로는 노정녀(2014)의 연구가 거의 유일하다.

다음으로 탄소은행제의 효과를 분석하기 위해 다양한 탄소은행제의 특성

17) 익명의 심사자 지적대로 아파트 면적보다는 아파트 분양가를 사용하면 소득에 대한 더 적절한 대리변수가 될 것이나 분양가 자료가 없어서 부득이 전용면적을 사용했음.

변수들을 포함했는데, 우선 탄소포인트 적립액이 증가할수록 전기사용량은 줄어든 것으로 예상했다. 다만 탄소포인트 지급액이 기준년도 대비 5% 이내로 감축하면 50원/kWh이고, 5%이상 감축하면 70원/kWh이므로 비선형 관계일 가능성을 고려하여 이차항을 포함시켰다. 그린카드 발급 여부의 경우 발급 가구가 미발급 가구에 비해 전력 사용을 감축할 유인이 높을 것으로 예상하였다. 그린카드 발급 가구가 더 친환경적이거나, 적립한 탄소 포인트를 그린카드를 이용하여 보다 다양하게 활용할 수 있기 때문이다.

이상의 가정용 전력수요모형을 설명하기 위해 식 (1)과 같은 계량경제모형을 설정할 수 있다¹⁸⁾.

$$\begin{aligned}
 \ln(D_{electricity}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(P_{electricity}) + \beta_2 \ln(P_{electricity})^2 + \beta_3 \ln(C_{gas}) \\
 & + \beta_4 \ln(SIZE) + \beta_5 \ln(SIZE)^2 + \beta_6 \ln(DUR) + \beta_7 \ln(FLOOR) \\
 & + \beta_8 \ln(FFLOOR) + \beta_9 \ln(POINT) + \beta_{10} \ln(POINT)^2 \\
 & + \beta_{11} GCARD + \beta_{12} GCARD * POINT + \beta_{13} \ln(APPLY) \\
 & + \beta_{14} \ln(APPLY)^2 + \beta_{15} \ln(APPLY)^2 + e
 \end{aligned}$$

$$, e_i \sim (0, \sigma_i^2) \quad (1)$$

($D_{electricity}$: 가구별 연간 전력 사용량, $P_{electricity}$: kWh당 전력요금, C_{gas} : 도시가스 연간사용요금, $SIZE$: 거주 아파트의 전용면적, DUR : 아파트 설립연도, $FLOOR$: 거주 아파트 층수, $FFLOOR$: 아파트 전체 층수, $POINT$: 탄소포인트, $GCARD$: 그린카드 발급여부, $APPLY$: 가입기간)

18) 여기서 개별 가구 I에 대한 하첨자는 편의상 생략하였고, $\ln$ 은 자연로그를 의미함.

2. 모형추정결과

<표 2>의 모형1은 전기요금, 전용면적, 탄소포인트, 도시가스 요금, 아파트 설립연도, 거주자의 아파트 층수, 아파트 전체층수, 그린카드 발급여부, 탄소은행제 가입기간에 대한 일차항 및 그린카드 발급여부와 탄소포인트의 교차항을 설명변수로 구성하였다. 모형2는 모형1에 포함된 설명변수들의 일차항에 전기요금, 전용면적, 탄소포인트, 가입기간에 대해 이차항을 추가했고, 모형3은 가입기간의 삼차항을 추가해 보았다. 모형2 및 모형3의 경우 그린카드 발급여부와 탄소포인트의 교차항은 제외하였는데 이는 모형1에서 교차항이 유의하지 않게 나타났기 때문이다.

OLS 추정에 앞서 다중공선성 (multicollinearity)과 이분산성 (heteroscedasticity) 문제가 있는지 검토하였다. 우선 다중공선성은 모든 변수에 대해 VIF (Variance Inflation Factor)가 2미만으로 나타나고 평균 VIF는 1.31로 나타나 다중공선성 문제가 없는 것으로 나타났다. 다음으로 이분산성을 Breusch-Pagan / Cook-Weisberg 검증법과 Cameron & Trivedi의 검증법을 이용하여 검증한 결과 이분산성이 존재하는 것으로 나타났다(Greene, 2008). 통상 이분산성이 존재하면 OLS에 의한 추정계수의 표준오차에 이분산성을 감안하여 수정할 수 있다. 본 연구에서는 STATA 통계 프로그램의 VCE(robust)를 이용하여 이분산성을 고려하였다.

모형1의 경우 몇 가지 중요한 설명변수의 부호가 적절하지 않게 나타났다. 즉 전기요금이 높을수록 전기 사용량이 증가하고, 탄소포인트가 높을수록 전기 사용량이 증가하였다. 또한 아파트 전용면적이 클수록 사용량이 감소하는 것으로 나타났다. 한편 그린카드 발급여부와 탄소포인트 교차항은 통계적으로 유의하지 않아서 모형2와 모형3에서는 제외하였다.

모형2에서는 부호가 부적절한 변수들에 대해 이차항을 추가해 보았다. 그

결과 전기요금은 사용량과 역U자형으로 나타났는데, 처음에는 전기요금이 사용량과 함께 증가하다가 전기요금 부담이 임계점을 넘어서면 사용량을 줄이게 된다. 즉 사용량이 낮은 구간에서는 전력요금이 낮게 책정되어 사용량을 줄일 유인이 없지만 사용량이 증가하면 요금이 높게 책정되므로 줄일 유인이 발생한다고 볼 수 있다. 탄소 포인트와 사용량도 역U자형의 관계에 있는 것으로 나타났다. 즉 탄소포인트가 낮은 수준에서는 사용량을 줄일 유인이 없지만 상당한 수준에 이르면 사용을 줄일 유인이 크다고 볼 수 있다.

탄소은행제 가입기간도 사용량과 역U자형 관계가 있으며, 가입기간 초반에는 사용량이 증가하지만 절감 노하우가 쌓이면서 사용량이 감소한다. 소득의 대리변수인 전용면적은 사용량과 U자 관계로 나타났는데, 초기에는 전용면적 증가에 따라 사용량이 감소하지만 임계점을 지나면서 사용량이 다시 증가하게 된다.

모형3에서는 다른 모든 설명변수들은 모형2와 같고 다만 가입기간에 대해 삼차항을 추가해 보았다. 가입기간의 삼차항은 유의하게 추정되었고, R^2 도 가장 높게 나타났다. 따라서 가입기간과 사용량 간에는 역N자형의 관계로 볼 수 있다. 가입기간의 전력사용량에 대한 한계효과를 구하면 +0.202가 되어 가입기간 1% 증가 시 전력사용량은 0.2% 증가하는 것을 알 수 있다¹⁹⁾. 이는 가입기간일 길어질수록 점차 전력소비를 줄일 수 있는 여지가 감소한다고 볼 수 있다.

세 모형에 공통된 추정 결과를 정리해 보면 우선 도시가스 요금에 대해서는 + 부호로 나타나 도시가스와 전기가 대체재 관계에 있음을 알 수 있다. 아파트 설립연도도 사용량과 + 관계로 나타났는데, 최근에 지어진 아파트일수록 첨단시설들이 추가되면서 전기사용량이 늘어난 것으로 추정된다. 그러나 모형2와 모형3에서는 통계적 유의성이 감소하였고, 신뢰구간도 -와 +에 걸쳐 있어서 추정결과를 신뢰하기는 어렵다. 그린카드 발급여부의 경우 발급받은 가구의 사용량이 감소했다는 점에서 그린카드가 사용량 감소의 유인으로 작용했다고 볼 수 있다.

19) 이는 로그형태의 전력수요함수에 대해 가입기간을 편미분함으로써 구할 수 있고, 구체적인 식은 $0.536+2*0.173*2.816-3*0.055*7.93=0.202$ 이 된다.

〈표 2〉 광주시 가정용 전력수요함수 추정결과

설명변수	모형1	모형2	모형3
lnprice	1.297*** (0.030)	10.287*** (1.096)	10.330*** (1.100)
lnprice2		-0.904*** (0.112)	-0.907*** (0.113)
lngascost	0.087*** (0.004)	0.067*** (0.005)	0.059*** (0.005)
lnsize	-0.054*** (0.016)	-0.623*** (0.192)	-0.655*** (0.191)
lnsize2		0.071*** (0.024)	0.075*** (0.024)
lnduration	-0.861 (1.306)	-1.953 (1.267)	-1.742 (1.266)
lnfloor	0.018*** (0.004)	0.014*** (0.003)	0.013*** (0.003)
lnffloor	0.099*** (0.012)	0.073*** (0.011)	0.065*** (0.011)
lnpoint	0.008*** (0.002)	0.084*** (0.021)	0.097*** (0.021)
lnpoint2		-0.004*** (0.001)	-0.005*** (0.001)
gcard	-0.115*** (0.015)	-0.084*** (0.008)	-0.089*** (0.008)
gpoint	0.000 (0.000)		
lapply	0.328*** (0.005)	1.034*** (0.012)	0.542*** (0.016)
lnapply2		-0.150*** (0.002)	0.166*** (0.013)
lapply3			-0.054*** (0.002)
_cons	5.817 (9.891)	-7.776 (10.450)	-9.266 (10.451)
R-Square	0.719	0.786	0.793

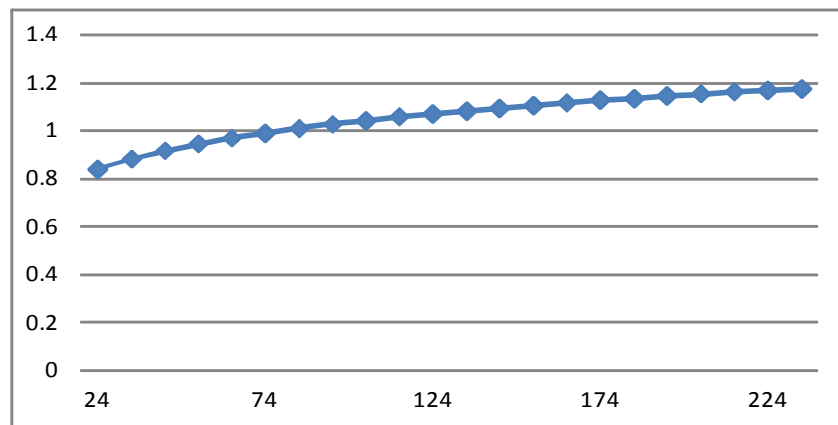
(괄호내는 추정계수에 대한 표준편차임. *, **, ***: 각각 10%, 5%, 1%이내에서 통계적으로 유의한 추정계수임.)

3. 비선형 관계에 대한 한계효과

전용면적과 탄소포인트, 탄소은행제 가입기간의 경우 앞서 모형3에서 전력수요와 비선형 관계에 있는 것으로 추정되었다. 따라서 세 변수에 대해 한계효과를 계산하고 이를 그래프로 표시해 보았다. 한계효과를 구하기 위해 모형 3에 대해 각 설명변수별로 편미분을 구하였다.

우선 [그림 1]은 전용면적이 증가함에 따라 전력수요가 어떻게 변하는지를 보여준다. 표본집단의 최소 전용면적이 24m^2 이고, 최대 전용면적이 230m^2 이므로 이 구간내에서 전용면적 변화에 따른 전력수요 탄력성을 구하였다. 그 결과 전력수요는 전용면적이 증가함에 따라 0.8~1.2%이내에서 증가하는 것으로 나타났다.

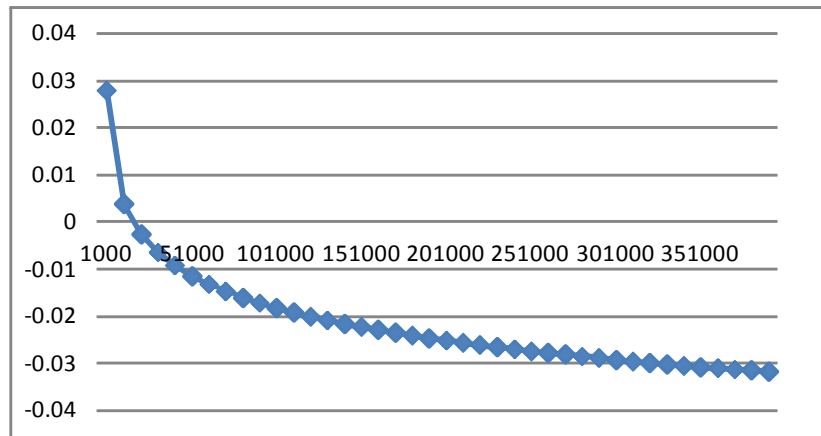
[그림 1] 전용면적(m^2)에 대한 전력수요의 한계효과 (%)



한편 탄소포인트가 증가함에 따라 전력수요에 미치는 한계효과를 살펴보면 [그림 2]와 같다. 탄소포인트가 1000원일 때는 전력수요가 0.003% 증가하지만 최대값인 38만원에서는 전력수요가 0.03%로 감소한다. 다만 탄소포인트의 평

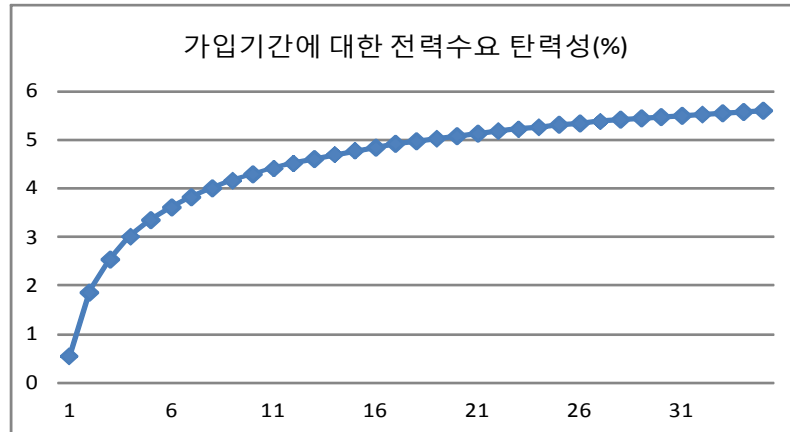
균값이 10,449원에서는 전력수요의 한계효과가 0.004%로 거의 영향을 미치지 못한다고 할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전력수요 탄력성이 음의 값을 갖기 위해서는 탄소포인트가 적어도 2만원이 되어야 한다. 이는 탄소은행제가 활성화되기 위해서는 탄소포인트 적립 방식이 개선될 필요가 있음을 보여준다. 이에 대해서는 결론에서 보다 상세히 기술한다.

[그림 2] 탄소포인트(원/년)에 대한 전력수요의 한계효과(%)



탄소은행제 가입기간(월기준)이 전력수요에 미치는 한계효과를 살펴보면 [그림 3]과 같다. 즉 가입초기에는 전력수요 탄력성이 급격히 늘어나다가 가입 1년 정도되면 5~6% 선으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 이는 탄소은행제에 가입한 모든 가구가 대상이므로 탄소포인트가 없거나 그린카드를 발급받지 않은 가구들이 전력수요 증가에 영향을 미친 것으로 추정된다. 즉 탄소포인트를 발급받거나 그린카드를 발급받은 가구들이 전력소비를 줄인 효과에 비해 그렇지 않은 가구들의 전력소비 증가 효과가 크다는 것을 보여준다. 따라서 탄소은행제가 제대로 작동하기 위해서는 탄소은행제 가입가구들이 전력소비를 절감하려는 유인을 보다 강하게 갖도록 하는 메카니즘의 도입이 필요함을 보여준다.

[그림 3] 탄소은행제 가입기간(월 기준)에 대한 전력수요의 한계효과 (%)



V. 결 론

본 연구는 성공적인 지자체 에너지 수요관리 사례로 평가받는 광주광역시 탄소은행제를 대상으로 탄소은행제 참여가구에 대한 횡단면 자료를 이용하여 탄소은행제가 가정용 전력 수요에 어떤 영향을 미쳤는지를 분석하였다. 또한 탄소은행제의 개선 필요성과 개선 방향을 제시하고자 하였다.

이를 위해 2010년 광주광역시 탄소은행제 참여가구의 전력 사용량을 종속 변수로 하고, 평균전력요금, 도시가스 요금, 아파트 설립연도, 아파트 전용면적, 거주 아파트 층수, 전체 아파트 층수, 그린카드 발급여부, 전력절감으로 얻은 탄소포인트, 탄소은행제 가입기간을 설명 변수로 하여 계량 분석을 실시하였다. OLS 추정 결과에 대한 이분산성이 존재하여 표준편차를 조정한 OLS 추정치를 사용하였다.

우선 전기요금과 탄소포인트는 아파트의 규모에 상관없이 전기수요에 대해 역U자형의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이는 전기요금이나 탄소포인트가 사용량이나 감축량이 낮은 구간에서는 사용량을 줄일 유인이 별로 없고, 전기요금이나 탄소 포인트가 어느 정도 높아야 감축 유인이 작동함을 보여준다.

또한 가입기간도 가정용 전력수요와 역N자형의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이에 대한 한계효과를 구해보면 가입기간 초기에는 전력수요에 대한 탄력성이 낮지만 점차 증가하여 5~6%선으로 수렴하는 것으로 분석되었다. 이는 가입가구 가운데 탄소포인트가 0인 가구 비율이 24.14%이고, 그린카드를 발급받지 않은 가구가 85.9%에 달하기 때문이다. 따라서 가입기간 전체에 걸쳐 전력수요 탄력성이 양의 값을 갖는다는 것은 탄소포인트나 그린카드를 발급하는 방식에 한계가 있음을 보여준다. 즉 기준년도에 비해 신청년도의 전체 전력사용량을 얼마나 줄였는지에 따라 탄소포인트를 지급하게 되면 가입기간이 늘어남에 따라 추가적으로 전력 소비를 줄일 여지가 크게 감소할 수밖에 없다.

그러므로 향후 탄소 은행제가 활성화되기 위해서는 탄소포인트 적립 기준이 개선되어야 한다. 이를 위해 하절기나 동절기 전력수요 피크 시간대를 기준으로 하여 평균 전력사용량보다 낮은 경우 탄소포인트를 지급하는 방안을 제안한다. 연간 전력 사용량을 기준으로 할 경우 전력 소비를 줄일 여지가 크지 않지만 피크 시간에 전력 소비를 줄일 여지는 상대적으로 크며 가입 기간에 구매를 받지 않기 때문에 제도의 지속성도 보장될 수 있다. 사실 우리나라의 전력 예비율은 평상시에는 20%를 상회하고, 기저부하용 화력발전이나 원자력이 상대적으로 저렴하지만 피크 부하기에는 전력 예비율도 크게 저하되고, 값비싼 LNG발전이 추가되어야 한다는 점에서 피크부하 관리가 중요하다. 따라서 향후 탄소은행제를 피크 부하기의 가정용 전력수요 관리와 연계한다면 효과적인 전력수요 절감이 가능할 것으로 판단된다.

끝으로 그린카드 발급은 전력소비 절감에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었으나 그 영향이 0.089% 정도로 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 그

탄소은행제의 가정용 전력수요 절감 효과 분석

린카드로 적립한 탄소포인트를 이용하여 구매가능한 상품이 제한적이고, 공공기관 이용시 이용가능한 서비스 역시 제한적이기 때문인 것으로 판단된다. 향후 그린카드 제도의 효과를 제고하기 위해서는 구매가능한 상품이 보다 다양화되고, 이용 가능한 공공 서비스 역시 보다 다양화될 필요가 있을 것이다.

접수일(2016년 12월 28일), 수정일(2017년 2월 5일), 게재확정일(2017년 2월 8일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 고재경, 2010, “탄소포인트제 평가 및 개선방안”, 경기개발연구원.
- 권오상·강혜정·김용진, 2014, “가구별 소비자료를 이용한 전력수요함수 추정 및 요금제도 변경의 효과 분석”, 자원·환경경제연구, 제23권 제3호, pp.409-434.
- 김경수·신문수·구자진, 2010, “대학 캠퍼스의 에너지 소비 실태 조사를 통한 탄소 인센티브 제도 연구”, The Environmental Education, 제 23권, 제 2호, pp. 65-81.
- 나인강·손양훈, “냉방기기 보유에 따른 전력수요함수 추정에 관한 연구,” 응용경제, 제 1권 제1호, 1999, pp. 101-120.
- 노정녀, 2014, “ 가구 구성원 특성과 가전제품 사용에 따른 가정용 전력 수요의 예측”, “한국경제연구, 제32권 제2호, pp. 177-202.
- 민인식·최필선, 2009, 『STATA 기초통계와 회귀분석』, 한국STATA학회.
- 변병설·김수연·채은주, 2012, “탄소포인트 가입세대의 지역적 분포 및 시나리오별 포인트 지급기준 분석”, 한국정책학회 학술대회 자료집, pp.377-391
- 서정출, 2014, “우리나라의 지역별 주거용 전력수요함수에 관한 비교 연구”, 석사학위논문, 숭실대학교.
- 안창희, 2012, “탄소포인트제도 소비자의 특성비교 분석”, 환경정책, 제 20권 제 3 호 , pp 109-134.
- 이주석·유승훈·곽승준, “가구자료를 이용한 서울시 가정용 전력수요함수의 추정,” 한국 산업경제학회 2007년도 춘계학술대회 논문집, 2007.06, pp. 179-189.
- 임기추·강운영, 2004, “생활양식이 가정부문 에너지 소비에 미치는 영향 분석”, 기본연구보고서 04-01, 에너지경제연구원.
- 임현진·정수관·원두환, 2013, “지구온난화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력수요를 중심으로”, 에너지경제연구, 제 12권 제 2호, pp. 35-58.

- 정혜영·배정환, 2015, “오차수정모형을 이용한 탄소은행제의 효과 분석 - 광주광역시를 중심으로-”, 경제학연구 제63집 제4호, pp. 173-199.
- 황해성·주용진·고준환, 2012, “탄소저감정책 효과분석을 위한 공간통계기법 적용방안 연구-탄소포인트제도를 대상으로”, 한국공간정보 학회지, 제 20권 제 1호, pp. 71-80.
- 탄소포인트제 홈페이지, <http://www.cpoint.or.kr> <2015. 10월>.
- Al-Faris, A R. 2002. “The Demand for Electricity in the GCC Countries.” *Energy Policy* 30, pp. 117-124.
- Dubin, J. A. and D. L. McFadden, “An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption,” *Econometrica*, Vol. 52, 1984, pp. 345-362.
- Halversen, R., 1975, “Residential Demand for Electric Energy,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 85, pp. 12-18
- Houthakker, Hendrik, 1951, “Some Calculations on Electricity Consumption in Great Britain,” *Journal of the Royal Statistical Society*, 114(3), pp. 359-371
- Narayan, P. K. and R. Smyth., 2005, “The Residential Demand for Electricity in Australia: An Application of the Bounds Testint Approach to Cointegration,” *Energy Policy* 33, pp. 467-474.
- Tae Young Jung, “Ordered logit model for residential electricity demand in Korea,” *Energy Economics*, Vol 15(3), 1993, pp.205-209.

ABSTRACT

Effects of Carbon Bank Policy on Reduction of
Residential Electricity Demand

Jeong Hwan Bae^{*}, Mee Jeong Kim^{**}, Haeyoung Jung^{***}

This study analyzes whether the carbon bank policy that has been performed in Gwangju metropolitan area affects significantly reduction of residential electricity demand by applying an OLS estimation with considering heteroscedasticity. For residents who joined the carbon bank policy in 2010, we accounted period of membership for the carbon bank program, carbon point, issuance of green card, and other household characteristics as independent variables. We found that the electricity charge and carbon point have inverted U-shaped relation with electricity demand. Also, we found inverted N-shaped curve between period of membership and electricity demand. Although issuance of green card was significant in mitigating electricity demand, the relative contribution was minimal. We suggested that peak load should be reference for carbon point and sort of goods and services that can be purchased by green card should be extended.

Key Words: carbon bank policy, residential electricity demand, green card

JEL Code: Q4, Q5

^{*} Corresponding author, Associate Professor, Dep. of Economics, Chonnam National University, jhbae@jnu.ac.kr.

^{**} Doctoral Student, Dep. of Economics, Chonnam National University, love-green27@hanmail.net.

^{***} Doctoral Student, Dep. of Economics, Chonnam National University, hywind13@gmail.com