자원·환경경제연구 제 24 권 제 3 호
Environmental and Resource Economics Review
Volume 24, Number 3, September 2015 : pp. 463~488
DOI: http://dx.doi.org/10.15266/KEREA.2015.24.3.463

가정용 전자기기의 잠재 상쇄 공급량 추정

진현정* · 김정인** · 유은영*** · 박서화****

요 약 : 본 연구에서는 2015년부터 시행된 온실가스 배출권 거래제도에 맞추어 상쇄(offset)제도의 구체적인 설계가 필요한 시점에서, 가정부문의 고효율 전자기기의 보급을 통해 확보할 수 있는 잠재 상쇄 공급량을 추정하였다. 분석대상 품목은 TV, 세탁기, 선풍기, 냉장고, 에어컨 등 다섯 가지 가전기기이며, 자기회귀시차분포모형(ARDL)을 통해 2016년부터 2022년까지의 고효율 가전기기의 보급대수를 추정하고, 효율 개선을 통한 전기 절감량과 이에 따른 탄소 환산율을 통해 최종적으로 잠재 상쇄 공급량을 도출하였다. 고효율 가전기기의 에너지 절감률을 각각 10%와 20%로 가정했을 때 2022년에 누적된 탄소 저감량은 361,899CO_2t과 723,797CO_2t으로 나타났으며, 에너지 절감량이 큰 순서로는 에어컨, 냉장고, TV, 세탁기, 선풍기 순으로 나타났다. 또한 에너지 소비효율 1등급 가전기기의 에너지 절감률이 20%라고 가정했을 때, 누적 탄소 저감량이 2015년에 비해 2022년에 약 316% 증가하는 것으로 나타났다.

주제어 : 옵셋(Offset), 시계열모형, 가전기기, 에너지 소비효율, 탄소 저감량

JEL 분류 : Q41, Q50, C13

접수일(2015년 5월 28일), 수정일(2015년 8월 13일), 게재확정일(2015년 9월 8일)

* 중앙대학교 경영경제대학 경제학부 교수, 제1저자(e-mail: hyunjin@cau.ac.kr)
** 중앙대학교 경영경제대학 경제학부 교수, 교신저자(e-mail: jeongin@cau.ac.kr)
*** 중앙대학교 문화예술경영학과 석사과정, 제2저자(e-mail: happytime2068@hanmail.net)
**** 중앙대학교 문화예술경영학과 석사과정, 제3저자(e-mail: seohwa0628@naver.com)

Estimation of Potential Supply of Offset from Household Electric Appliances

Hyun Joung Jin*, Jeong In Kim**, Eun Young You*** and Seo Hwa Park****

ABSTRACT : A more detailed design of offset system is needed according to the emission trading system started in 2015. This study aims to estimate the supply of potential offset that can be secured by expanding high-efficiency household electric appliances. The target commodities for analysis are three different householding electric appliances: TV, washing machine, electric fan, refrigerator and air conditioner. By using the ARDL model, we estimated the coefficients of diffusion of these high-efficiency appliances from 2016 to 2022. Then, the potential supply of offset was drawn by calculating the amount of electricity saving by efficiency improvement and by applying the rates of carbon exchange. Supposing that the electricity savings rates of high-efficiency appliances are each 10% and 20%, the accumulated carbon decrement in 2022 was respectively 361,899CO_2t and 723,797CO_2t. The appliance that showed the biggest carbon decrement was air conditioner, and the second biggest was refrigerator and the next was TV, followed by washing machine, electric fan.

Keywords : Offset, Time series data, Household electric appliances, Energy consumption efficiency, Carbon decrement

Received: May 28, 2015. Revised: August 13, 2015. Accepted: September 8, 2015.

* Professor, Department of Economics, College of Business and Economics, Chung-Ang University, First author(e-mail: hyunjin@cau.ac.kr)

** Professor, Department of Economics, College of Business and Economics, Chung-Ang University, Corresponding author(e-mail: jeongin@cau.ac.kr)

*** Graduate Student, Department of Culture-Art Business Administration, Graduate School of Chung-Ang University, Coauthor(e-mail: happytime2068@hanmail.net)

**** Graduate Student, Department of Culture-Art Business Administration, Graduate School of Chung-Ang University, Coauthor(e-mail: seohwa0628@naver.com)

I. 서 론

정부는 2009년 11월 중·장기 온실가스 감축 목표를 세우고 2020년까지 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 30%를 감축하기로 결정하였다. 이를 위한 구체적인 실행과제로 '온실가스·에너지 목표관리제도'가 2012년부터 운행되고 있으며, 또 하나의 실행과제인 '온실가스 배출권 거래제도'가 2015년 1월부터 시행되었다. 그러나 온실가스 배출권거래시장은 기대와 달리 배출권 수요에 비해 공급이 부족하여 실거래가 거의 없는 상태가 이어지고 있다(마이더스, 2015).[1] 이에 따라 그 타개책들 중 하나로 추후 실행 시기를 결정하기로 한 '상쇄(offset)제도'에 대한 관심이 높아지고 있다.

상쇄는 배출권 거래시장에서 배출권 할당업체가 감축의무를 달성하는 데 주요 수단이 될 수 있다. 상쇄제도가 시행되면 할당업체는 외부사업을 이용하여 국제적 기준에 부합하는 방식으로 온실가스를 감축하고, 이에 대해 '외부사업 인증실적'(Korean Offset Credits, KOC)을 발급받아 이를 '상쇄배출권'(Korean Credit Units, KCU)으로 전환해 거래할 수 있다. 또한 자체적으로 온실가스 감축이 어려운 할당업체는 그 실적을 구매해 부족한 할당량을 보충할 수 있다. 즉, 배출권 상쇄제도의 시행은 공급량 부족에 시달리는 배출권 거래시장에 활력을 불어넣어 줄 수 있을 것이다.

이러한 상쇄제도가 효과를 거두기 위해선 무엇보다 구체적이고 정교한 제도의 설계가 필요하다. 특히, 정교한 모형분석을 통해 상쇄 크레딧 수요량과 공급량 등을 도출하고 이를 바탕으로 상쇄제도 설계의 근거를 확보해야 한다. 이는 국내 여건에 적합한 정책 프로그램을 개발하고, 제도에 대한 중·장기적 지원을 체계적으로 수행해 나가기 위해서 반드시 필요한 작업이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 국내 민간부문의 상쇄 잠재 공급량 도출을 시도하였다. 이는 민간부문에서 발생한 탄소 저감을 통해 어느 정도의 상쇄 공급량이 확보될 수 있는지 확인하는 과정으로, 상쇄제도 설계에 있어서 민간부문을 어떻게 활용할 것인지를 결정하는데 중요한 자료가 될 수 있을 것이다. 그러나 민간부문에서 발생하는 모

1) 마이더스. 2015.「온실가스 배출권시장, 아직은 유명무실」.
http://www.yonhapmidas.com/issue/bigissue/2015-03/150308161952_547467 [2015년 3월 21일]

든 측면의 공급 가능한 상쇄를 분석하기에는 한계가 있기 때문에, 본 연구는 에너지 소비효율이 높은 가정용 전자기기 제품의 보급을 통해 확보할 수 있는 상쇄 잠재 공급량에 한정하여 분석하고자 한다.

자료의 부족 및 기존 사업이 존재하지 않는다는 점을 고려하여 다섯 가지 가전기기(TV, 세탁기, 선풍기, 냉장고, 에어컨)의 보급대수 자료를 이용하여 2022년까지의 신규보급 및 교체대수를 예측하고, 이를 바탕으로 에너지 소비효율이 높은 기기로의 교체를 통해 확보할 수 있는 잠재 상쇄 공급량을 추계하고자 한다. 본 연구는 주요 가전기기의 고효율화를 통해 확보할 수 있는 상쇄 잠재 공급량을 추정함으로써 상쇄제도 설계에 있어서 가정부문의 활용을 고려할 수 있는 근거를 제시한다는 점에 그 의의가 있다고 할 수 있다. 즉, 본 연구는 상쇄 공급량 확보를 위한 다양한 방식을 모색하는 데 중요한 정보를 제공할 것으로 여겨진다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 관련 선행연구를 고찰하고, 탄소상쇄와 시계열모형에 대해 설명하고자 한다. 그 후 분석을 통해 고효율 가전기기의 구매로 인한 탄소 저감량을 추정하고, 이를 통해 상쇄제도 설계에 있어서 민간부문을 어떻게 활용할 수 있는지에 대해 논하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

본 연구의 주제와 관련이 있는 가정부문의 잠재 감축량에 관한 연구로 진형아 외(2013)가 있다. 이 연구는 2007년도를 기준으로, 가정부문의 에너지 사용 분야를 난방, 취사, 냉방, 조명, 가전기기 5개 용도별로 구분하고, 기기별 에너지 소비량과 보급률, 가격 및 사용연수, 사용시간, 점유율 등의 자료를 토대로 AIM(Asia-pacific Integrated Model)모형을[2] 적용하여 최종 CO_2배출량을 산출하였다. 한국전력공사 및 전력거래소에서 작성한 '가전기기 보급률 및 가정용 전력소비행태'에 대한 조사결과를 바탕으로 현재 시장에서 점유율이 높고 대표성이 있는 기기의 에너지 소비

2) 아시아태평양 지역에서 지속가능한 개발에 대한 정책옵션을 평가하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 모델로, 온실가스 감축을 위한 녹색생활 실천이나 정책 등 소프트웨어 측면의 대책도입에 따른 감축률을 외생변수로 산정한 모형이다.

량과 주요 에너지 사용처 등을 고려하여 산출하였다.

노동운(2011)은 2020년의 6개 권역별 온실가스 감축 잠재량 및 감축비용을 분석하기 위해 상향식최적화모형(Market Allocation, MARKAL)을[3] 사용하였다. 분석기간은 2005년부터 2050년까지 5년 단위의 9개 구간으로 설정하였으며, 분석모형의 최종수요부문은 전환부문, 산업부문, 가정부문, 상업부문, 공공부문, 수송부문으로, 각 부문마다 각기 다른 온실가스 감축수단 시나리오를 가정하였다. 이를 통해 각 구간별로 지역별 온실가스 배출량 전망과 잠재 감축량, 평균 감축비용을 예측하였다. 민동기(2010)는 제조업체 투입요소의 기술적 효율성을 추정하고 이를 토대로 온실가스 감축 잠재량을 추정하기 위해 자료포락분석기법(Data Envelopment Analysis, DEA)을[4] 활용하였다. '2008년도 광공업 총조사' 자료를 활용하여 사업체별 기술적 효율성을 추정하여 투입요소의 기술적 효율성이 성취되었을 때 절감 가능한 전력 사용량을 추정하였다.

한편 국외의 연구상황을 보면, Kadian *et al*. (2007)은 인도 수도인 델리 지역을 중심으로 기존의 연료를 신재생에너지로 대체했을 경우와 기존의 제품을 에너지 소비 효율이 높은 제품으로 교체하였을 경우를 각각 가정하여 2021년까지의 에너지 감축량 및 온실가스 저감량을 예측하였다. Zhanga *et al*. (2013)은 중국 지역을 중심으로, 미래의 재생에너지로 각광받고 있는 바이오가스 시스템을 가정에서 사용함으로써 어느 정도의 탄소저감 효과를 얻을 수 있는지 예측하였다. 이 연구에서는 향후 20년간 가정용 바이오가스 시스템을 활용한다고 가정하였을 때, 매년 1.25톤의 탄소배출을 감소시킬 수 있음을 증명하였다. Cai *et al*. (2007), Besmann (2010), Takas *et al*. (2010)은 개별 국가의 에너지 감축 정책에 따른 감축량 및 온실가스 저감량을 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning System) 모형[5]을 이용하여 산출하였다.

---

3) 주어진 제약조건 하에서 최종수요를 충족하는 최소비용의 에너지 시스템을 선택할 수 있는 모형이다.

4) 규모에 대한 보수 가정을 토대로, 개별 사업체의 자료를 이용하여 산출량별로 필요한 최소 투입 요소량을 추정하고, 이를 근거로 개별 사업장의 기술적 효율성을 추정하는 방법론이다.

5) 에너지 정책을 분석하기 위한 모형으로, 해당 에너지 정책이 소비자의 행태나 기술 선택에 미치는 영향을 분석하여 에너지 감축량을 산출하는 방법론이다. 특히 LEAP 모형은 에너지 정책 분석 모형 중에서도 비용이 가장 적게 드는 대안을 찾는 회계모형에 해당한다.

노동운(2011)과 민동기(2010)의 연구는 특히 산업부문 잠재 에너지 감축량을 산출하는 데에 초점을 맞추고 있으며, 에너지 효율을 높일 수 있는 기술 도입을 에너지 감축의 주요 대책으로 제시하고 있다. 또한 Cai *et al*. (2007), Besmann (2010), Takas *et al*. (2010)은 해당 국가의 에너지 감축 정책의 실효성을 검증하기 위해 각각의 정책 시나리오에 따른 에너지 저감량을 산출하고 비교하는 데 초점을 맞추고 있으며, Zhanga *et al*. (2013)은 가정에서 바이오시스템이라는 새로운 기술을 도입함으로써 가능한 탄소배출 저감량을 측정하고 있다. 그에 반해 본 연구는 가정부문에서 주요 가전기기를 고효율 기기로 교체함으로써 얻을 수 있는 에너지 감축량 및 이를 통한 상쇄 공급량을 추정한다는 점에서 차이가 있다. 또한 진형아 외(2013)와 Kadian *et al*. (2007)의 연구는 본 연구와 마찬가지로 가정부문의 잠재 감축량을 산출하고 있으나, 진형아 외(2013)의 경우 실질 데이터가 아닌 관련문헌을 통해 녹색생활 실천, 사용시간 단축, 고효율기기 선택을 감축대책으로 제시하고 이러한 시나리오들이 달성되었을 경우를 가정하고 감축량을 산출한 반면, 본 연구에서는 시계열예측모형을 이용하여 예상 감축량을 산출한다는 점에서 차이가 있다. 그리고 Kadian *et al*. (2007)의 연구가 가정부문에서 신재생에너지를 사용했을 때와 고효율기기로 변경하였을 때의 저감량을 비교하여 더 효과적인 정책을 도출하는 것에 초점을 맞추고 있는 반면, 본 연구에서는 가정용 전자기기를 고효율기기로의 변경함으로써 가정부문에서 잠재 상쇄 공급량을 어느 정도 확보할 수 있는지 확인하고자 했다는 점에서 차이가 있다고 할 수 있다.

한편, 백정명 외(2009)는 에어컨의 효율기준 상향조정에 따른 CO_2배출량 감소에 중점을 두고, Bass확산모형을 이용해 에어컨의 보급대수를 산정하였다. 보다 정확한 결과를 위해 시간대별로 발전원을 선정하고 이들의 CO_2배출계수를 활용함으로써, 시간대별 해당 발전원의 절감 발전량과 연료별 CO_2배출량 절감에 따른 경제성을 예측하였다. 박종진 외(2008)는 고효율기기의 보급량에 대한 데이터가 부족하다는 점에 입각하여, Bass확산모형을 사용해 국내 고효율기기의 보급량을 예측하였다. 또한 확산모형의 단일적용에 대한 단점을 극복하기 위해, Bass확산모형의 결과와 함께 Virtual Bass모형(VBM), Logistic확산모형, Lawrence & Lawton확산모형의 결과를 비교하였다. 분석대상은 전구형 형광등, 32W 1/2등용 안정기, 인버터 50/55Hz,

자판기, 중대형·소형 전동기 등 8개 상품으로 하였다. 이 두 연구와 같이 Bass확산모형을 이용하여 신규 및 교체대수를 예측할 수 있으나, Bass확산모형의 경우 신제품의 수요를 예측하기 위한 모형으로 전기자동차나 수소자동차 같은 혁신제품에 대한 수요를 예측하는 데 보다 적합한 모형이다. 본 연구의 대상인 가전기기는 이미 보급이 어느 정도 안정된 상태이기 때문에 다소 적합하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 주어진 시계열 자료의 변화를 설명하는 데 있어서 효과적이라고 일컫는 ARDL(Autogressive Distribute Lag)모형을 이용하고자 한다.

III. 이론적 배경

1. 탄소상쇄

영국을 포함한 유럽 국가들은 경제성장의 저해요인 없이 지구온난화 문제를 해결하는 방안으로서 탄소상쇄(carbon offsetting)를 추진 중에 있다. 상쇄란 대차 손익 등을 서로 맞추어 영(零)으로 한다는 의미로, 탄소상쇄는 인간의 경제 활동이나 일상생활을 통해 배출되는 이산화탄소 등의 온실 가스를 조림, 삼림 보호, 청정에너지 사업 등의 직접 활동 또는 간접지원을 통해 상쇄하는 것을 의미한다.

예를 들어, 국내 '산림탄소상쇄제도'를 대표적인 탄소상쇄사업으로 볼 수 있는데, 산림청이 2010년 11월 16일 '탄소 흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 시행령 및 시행규칙' 제정안을 입법하여 시행하고 있다. 이 제정안에 따르면, 산림탄소상쇄의 종류는 산림조성뿐만 아니라 산림 경영, 목제품 이용, 산림바이오매스 에너지 이용, 산림전용 및 산림황폐화 방지 활용 등을 포함하며, 기업이나 국민은 자발적으로 산림탄소상쇄에 참여할 수 있다. 산림탄소상쇄사업에 참여한 기업이나 국민은 해당 사업을 통해 산림이 흡수한 이산화탄소량에 상당하는 크레딧을 발급받게 되며, 발급받은 크레딧은 사회공헌 실적으로 활용하거나 자발적 탄소시장(Voluntary Carbon Markets, VCM)[6]에서 거래할 수 있다.

6) 자발적 탄소시장이란 감축의무가 없는 기업, 기관, 비영리단체, 개인 등이 탄소를 자발적으로 상쇄하거나 탄소 배출권을 구매하는 등 다양한 목적을 위해 배출권을 거래하는 시장을 의미한다.

현재 우리나라 정부는 중·장기 온실가스 감축 목표 달성을 위해 '상쇄제도'의 도입을 검토 중에 있다. 이 제도를 통해 기업 또는 개인이 외부사업으로 발행 받은 인증실적을 배출권 할당업체에게 판매하고, 할당업체는 구매한 외부사업 인증실적을 상쇄배출권으로 전환해 배출권거래시장에서 거래할 수 있게 된다. 현재 인증이 가능한 탄소상쇄사업으로 목재펠릿 활용 연료 전환, 재생에너지 이용 전력 생산, 태양열에너지 이용 열에너지 생산, 연료전환사업, 전력절감설비 설치, 바이오 압축천연가스(Compressed Natural Gas, CNG) 생산 및 자동차 연료 이용, 폐목재 활용 열에너지 생산, 하수처리장 바이오가스 회수 및 이용, 신규조림 및 재조림 등 16가지 대안이 제시되고 있다.

2. ARDL모형

Pesaran and Shin (1999)과 Pesaran *et al*. (2001)이 제안한 자기회귀시차분포모형(ARDL)은 종속변수의 시차변수들이 설명변수로 포함된 자기회귀(Autoregressive, AR) 모형이자 추가적인 독립변수의 다중시차변수들이 회귀식에 포함되어 있는 모형이다. 따라서 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 한 시점에서만 일어나는 것이 아니라 시차를 두고 지속적으로 이루어질 수 있다는 것을 내포하고 있다. 특히 t기의 행위나 결정들이 t기뿐만 아니라 $t+1$기 $t+2$기 등에도 영향을 미치는 시차분포모형(Distributed Lag, DL) 중 최대 시차가 한정되어 있지 않은 무한 시차 모형으로, 다른 무한 시차 모형들에 비해 모수의 크기에 대해 보다 유연한 모형으로 알려져 있다. 즉, 충분히 큰 p와 q를 이용한 어떠한 무한 시차 분포도 근사적으로 나타낼 수 있어 단기 예측에서도 모수제약을 완화할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 ARDL모형은 불안정한 시계열 사이에 공적분 관계가 존재할 때 효과적으로 사용할 수 있는 모형이라는 장점을 가지고 있다. 그러나 시계열 자료가 비정상성을 가지고 있을 경우 허구적 회귀현상이 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

ARDL모형을 활용한 국내 기존연구로는 인도네시아의 교역조건 개선이 투자에 미치는 영향에 대한 연구 (김완중, 2014), 중국의 주택시장과 거시경제변수 간의 장기관계를 분석한 연구 (서화· 심성훈, 2013), 지역 주택가격과 지역총생산 간의 장기

관계에 대한 연구 (심성훈, 2012), 전자상거래가 부가가치세에 미치는 효과를 분석한 연구 (최문성, 2012), 지구온난화에 따른 기후변화가 가정부문 전력수요에 미치는 영향에 대한 연구 (임현진·정수관·원두환, 2013) 등이 있다.

본 연구에서는 전체보급대수(y_t) 추정을 위한 ARDL 모형을 아래와 같이 설정하였다.

$$y_t = \alpha + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \ldots + \theta_1 noh_t + \theta_2 noh_{t-1} + \ldots + \delta_1 \tau + \epsilon_t \quad (1)$$

여기서 y_t는 t시점의 특정 가전기기 전체보급대수를 의미하며, noh_t는 t시점의 국내 전체가구수를 의미한다. 그리고 τ는 시간추세를 설명하기 위한 추세변수를 의미하며, ϵ_t는 오차항을 나타낸다. 따라서 식 (1)에는 세 가지 경쟁모형이 내포되어 있다고 할 수 있다. 먼저 종속변수의 시차를 독립변수로 한 모형, 독립변수와 이 변수들의 시차를 독립변수로 한 모형, 그리고 이 두 모형의 조합이라 할 수 있는 자기회귀시차분포(ARDL)모형이다.

본 분석에서는 예측력을 높이는 데 중점을 두고 있기 때문에 원자료(level data)를 사용하고자 한다. 기본적으로 시계열자료를 이용한 분석에서는 자료가 갖게 되는 일반적인 성격인 시간에 따른 추세 및 자료의 비정상성(non-stationarity)을 테스트하고 이를 제거하는 과정이 필요하다. 자료의 추세 및 비정상성은 가성회귀(spurious regression)나 계수 추정치의 부정확성 등의 문제를 야기하기 때문이다. 그러나 본 연구에서는 가장 예측력이 높은 모형을 선정하는 것이 주된 목적이기 때문에, 추세나 비정성상의 존재 여부를 떠나 예측력에 기준을 두고 모형을 선정하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 단위근(unit-root) 검정 및 차분(differentiation) 등의 과정을 생략하였다.

식 (1)에 제시된 모형에서 설명변수로 자기회귀항, 전체가구수, 시간추세 이외에도 소득, 인구수, 가전기기 생산량 등과 같은 다른 변수들이 추가될 수 있다. 그러나 인구수는 가구수와 밀접한 상관성이 있어 공선성(collinearity) 문제를 일으킬 소지가 있고, 가전기기 생산량은 보급대수와 재고를 합친 것과 같기 때문에 사실상 종속변수와 성격이 같은 변수라고 판단되어 제외하였다. 그리고 소득은 시간추세와 밀

접한 상관성을 보이고 있어서 이 역시 공선성 문제를 일으킬 소지가 있고, 또한 예비분석에서 시간추세와 같이 모형에 포함하는 경우 통계적 유의성이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 소득과 시간추세 중에서 어느 변수를 포함할 것인가에 대해, 시간의 흐름에 따라 점차 상승하는 모습을 가진 다른 설명변수들의 움직임까지도 폭넓게 아우를 수 있는 시간추세를 포함하고자 한다.

3. 모형 선택기준

식 (1)에 내포된 세 가지 모형들 중 특정 모형에 있어서 자기회귀의 항이나 독립변수들의 항을 어느 시차까지 포함할 것인지 그리고 시간추세변수를 포함할 것인지를 결정하기 위해서는 선택기준이 필요하다. 이 결정에 있어서 본 연구에서는 일반적으로 비선형모형에서 주로 사용되는 AIC(Akaike Information Criterion)를 이용하고자 한다. 변수들을 포함한 특정 모형에 대한 AIC의 식은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$AIC = -2\sum_{i=1}^{n} l(y_i, x_i^T\hat{\beta})/n + 2k/n, \tag{2}$$

여기서 $\Sigma\, l(y_{i,} x_i^T\hat{\beta})$는 로그우도함수, $\hat{\beta}$는 식 (1)의 우변에 있는 변수들에 대한 최대우도추정량, k는 추정된 모수들의 개수를 나타낸다. 모든 후보모형들에 대해서 AIC를 계산하고, 그 중 이 값들이 최소인 모형을 선택하는 것일 일반적인 절차이다. 자료의 개수가 늘어날 때 참인 모형이 주어진 모형 선택 기준의 최소값을 갖게 되는 성질을 모형 선택의 일치성(consistency in selection)이라 하는데, 이론적으로 AIC에 대해서는 일치성이 성립하지는 않지만 BIC(Bayesian Information Criterion)에 대해서는 주요 분포에서 성립한다. 그러나 BIC는 일반적으로 AIC에 비해 더 단순한 모형을 선택하게 되는 경향이 있고, 예측오차가 좋지 않다는 단점이 있다. 일반적으로 BIC는 표본수가 큰 경우 모형 선택에 있어서 좀 더 효율적이고, 반대로 AIC는 표본수가 상대적으로 작은 경우 모형 선택에 있어서 효율적인 것으로 제시되고 있다. 따

라서 본 연구에서는 표본 수가 상대적으로 작기 때문에 AIC를 이용하고자 한다.

세 가지 모형에 포함될 변수들을 AIC를 이용해 선정한 후, 특정 가전기기에 대해서 이 세 가지 경쟁모형들 중 어느 모형을 이용하여 향후 전체보급대수를 예측할 것인지를 결정해야 한다. 예측은 사전적 예측(ex-ante forecasting)과 사후적 예측(ex-post forecasting)으로 나눌 수 있다. 원래 예측이라 하면 사전적 예측을 의미하지만, 사후적 예측은 주어진 자료 안에서 이루어지기 때문에 예측치의 정확성을 평가할 수 있어 모형의 예측력을 평가하는 데 널리 사용되고 있다. 이러한 사후적 예측의 오차(forecast error)를 기준으로 추정기간 이후의 기간에 대해 적합도 판정을 할 수 있다. 이 경우 오차를 이용한 적합도를 계산하는 방식은 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 RMSE(Root Mean Square Error)와 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 이용하고자 한다. 만일 두 개의 통계치가 각각 다른 모형을 선호하는 경우 RMSE에 우선을 두어 모형을 선택하고자 한다. 이 두 가지의 예측력 비교 통계치의 식은 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{h}\sum_{t=T+1}^{T+h}(\hat{y}_t - y_t)^2} \tag{3}$$

$$\text{MAPE} = 100\sum_{t=T+1}^{T+h}\left|\frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t}\right| \Big/ h \tag{4}$$

여기서 $\hat{y}_t$는 분석(예측)된 값, y_t는 실제 값, 그리고 h는 예측오차 측정기간을 의미한다.

IV. 연구절차 및 자료

1. 연구대상

일반적으로 가정에서 사용되는 전자기기는 TV, 일반 냉장고, 김치 냉장고, 세탁기, 선풍기, 에어컨, 컴퓨터, 전자레인지, 진공청소기, 전기다리미 등 다양하지만, 전기 소비량 및 보급대수 자료의 확보 가능성 등을 고려하여 본 연구에서는 TV, 세탁기, 선풍기, 냉장고, 에어컨 이상 다섯 가지 가전기기를 분석 대상으로 설정하였다. 본 연구의 분석 대상에 해당하는 가전기기들의 보급대수와 보급률(전체가구수 대비 해당 가전기기의 보급대수 비율) 추이가 <표 1>에 제시되어 있다.

〈표 1〉 가전기기 보급대수 (단위: 대/가구)

연도	TV		세탁기		선풍기		냉장고		에어컨	
	보급대수	보급률	보급대수	보급률	보급대수	보급률	보급대수	보급률	보급대수	보급률
1993	15,346	1.35	10,311	0.91	15,881	1.4	12,300	1.08	971	0.09
1994	17,512	1.33	12,214	0.93	17,149	1.37	13,387	1.08	1,663	0.12
1997	17,752	1.37	12,310	0.95	19,955	1.54	13,606	1.05	2,271	0.21
2000	19,020	1.43	12,750	0.96	21,045	1.58	14,242	1.08(0.11)	3,945	0.29
2002	21,710	1.44	14,459	0.96	24,262	1.61	15,825	1.05(0.33)	5,699	0.38
2004	22,910	1.45	15,068	0.96	25,373	1.61	16,309	1.04(0.48)	6,615	0.42
2006	23,758	1.46	15,905	0.98	28,513	1.75	16,555	1.02(0.63)	7,752	0.48
2009	23,681	1.43	16,247	0.98	29,229	1.76	17,045	1.03(0.75)	9,940	0.6
2011	23,996	1.43	17,172	0.99	27,020	1.61	17,632	1.02(0.75)	9,933	0.61
2013	21,283	1.23	16,954	0.98	29,695	1.72	17,948	1.04(0.86)	13,463	0.78

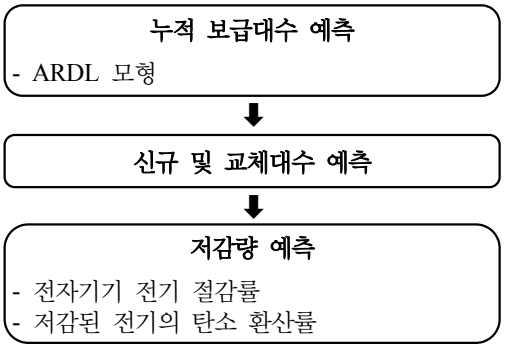
주: 보급률은 전체가구수 대비 해당 가전기기의 전체 보급대수에 의해 계산됨. 냉장고의 경우 2000년부터 김치냉장고가 포함된 수치이며, 보급률 열의 괄호 안의 수치는 김치 냉장고 보급률을 나타냄.
자료: 전력거래소, 2013년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사.

표를 보면, TV의 경우 2006년까지 전체 대수가 증가하는 추세였다가 2009년 실측자료부터 조금씩 줄어드는 추세를 보이고 있다. 특히 2013년에는 2011년도에 비하여 그 감소폭이 크게 나타나고 있다. 세탁기의 경우 2011년까지 전체 대수가 꾸준히 증가하다가 2013년에는 2011년에 비해 소폭 하락한 것으로 나타났다. 선풍기의 전체 대수는 2009년까지 꾸준히 증가하다가 2011년에 하락한 후, 2013년에 다시 증가하는 추세를 보이고 있다. 세탁기의 전체 대수와 보급률 모두 2004년 비해 2006년에 가장 큰 증가폭을 보이고 있으며, 전체 대수는 2013년이 가장 높은 것으로 나타났다. 냉장고과 에어컨의 전체 대수는 1993년부터 2013년까지 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 특히 에어컨의 경우 2011년에 비해 2013년에 그 증가폭이 가장 크게 나타났다.

2. 연구절차

본 연구의 분석과정이 <그림 1>에 제시되어 있다. 첫 번째, 자기회귀시차분포모형(ARDL)을 이용하여 분석 대상으로 설정된 가전기기의 2016년부터 2022년까지의 전체보급대수를 예측하였다. 두 번째, 추정된 전체보급대수를 이용하여 같은 기간의 신규 및 교체대수를 예측하였다. 그리고 마지막으로 고효율 가전기기 보급으로 인한 에너지 절감량을 탄소 저감량으로 환산하여 추정하였다.

〈그림 1〉 고효율 가전기기 교체에 따른 탄소저감 예측 개요도



3. 분석자료

분석에 사용된 가전기기의 보급대수는 한국전력거래소의 '가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태조사' 중 가장 최근의 2013년 자료에서 추출하였다. 한국전력거래소에서는 2년 주기로 전국 가구의 가정용 전력기기 보급현황 및 기기별 전력사용 행태를 파악하기 위해 전국 지역별(16개 시 · 도)로 할당한 표본 4,000가구를 대상으로 '가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태조사'를 실시하고 있다.

전체가구수 자료는 통계청에서 5년 주기로 실시하고 있는 '인구주택총조사'를 바탕으로 작성되는 '장래가구추계' 자료를 사용하였다. 가구의 규모와 구조 변화를 파악하고 예측하기 위해 진행되고 있는 '장래가구추계' 조사는 가구주율(성별 및 연령별 인구 중 가구주가 되는 비율)의 과거추이를 수학적 궤도를 이용해 미래에 연장하는 방법으로 작성된다. 본 연구에서 사용된 자료는 2000-2010년 인구주택총조사 가구주율 자료를 이용하여 수정지수모형[7]에 의해 추계된 자료이다.

V. 분석결과

1. 전체보급대수 예측

<표 1>에 제시된 바와 같이 가전기기의 보급대수는 2013년까지 조사되어 있는데, 조사되지 않은 연도의 자료는 앞뒤에 있는 두 개 연도의 선형추세를 이용하여 수치를 대입하는 보삽법을 이용하였다. 본 연구에서 추정기간은 자료가 존재하는 1993년부터 2013년까지이며, 예측기간은 2014년부터 2022년까지이다. 그리고 현재 시점이 2015년이기 때문에, 추정결과는 2016년부터 2022년까지 제시하고자 한다.

최적 모형의 결정은 기본적으로 t테스트에 바탕을 둔 변수들의 통계적 유의성과 AIC에 기준을 두고자 한다. 먼저 통계적으로 유의한 변수는 5% 기준으로 모두 포함하되, 통계적으로 유의하지 않은 변수를 포함할 것인지 대해서는 AIC를 기준으로

7) 텔레비전, 자동차 등의 판매수량의 증가경향, 컴퓨터 연산속도의 상승경향 등, 경제활동이나 기술적 변동 경향을 설명하거나 이들의 장래를 수량적으로 예측하기 위한 성장곡선으로, 일반적인 지수곡선과 같이 성장 초기과정의 결과는 쉽게 설명할 수 있어도 성숙과정에는 적절하지 않는 것으로 알려져 있다. 출처: 두산백과, http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1115777&cid=40942&categoryId=31819.

결정하였다. 설명변수가 종속변수에 미치는 영향의 통계적 유의성을 판단하는 데는 일반적으로 독립변수 계수들의 통계적 유의성을 이용하게 된다. 그러나 예측이라는 목적을 둔 추정에서는 유의확률이 특정 유의수준을 넘어가는 경우에도 변수를 포함할 것인지 아닌지에 대한 고민이 필요하다. 본 연구에서는 예측력에 도움이 되는 경우 t값의 유의성에 낮은 경우에도 최종 예측모형에 포함하였다. 즉, 특정변수 t값의 유의성이 떨어지는 경우, 그 변수가 들어간 경우의 AIC값과 제거한 경우의 AIC값을 비교하여 포함 여부를 결정하였다.

ARDL모형 추정결과가 <표 2>에 제시되어 있다. 식 (1)에 제시된 바와 같이, 가전기기의 보급대수를 종속변수로 그리고 보급대수의 시차항과 전체가구수 그리고 시간추세를 설명변수로 하여 추정을 실시하였다.

〈표 2〉 가전기기 전체보급대수 ARDL 추정 결과

변수 및 통계치	TV			세탁기			선풍기		
	AR	DL	ARDL	AR	DL	ARDL	AR	DL	ARDL
α	1137.704	-127078.8***	4940.663***	6910.850***	-2465.572***	-1307.555	2224.209**	-12326.31***	-122.182
y_{t-1}	1.414***	-	1.128***	0.412*	-	0.780***	0.935***	-	0.801***
y_{t-2}	-0.466**	-	-	-	-	-0.225	-	-	-
noh_t	-	0.011***	-0.000*	-	0.001***	0.000**	-	0.002***	0.000
τ	-	-3042.890***	-	172.416**	-	-	-	-	-
R^2	0.95	0.86	0.94	0.96	0.96	0.98	0.96	0.92	0.97
AIC	15.716	16.904	15.951	14.846	15.017	14.066	16.202	17.170	16.247
SIC	15.865	17.053	16.101	14.995	15.117	14.265	16.302	17.269	16.397
RMSE	1964.049	982.913	1175.440	438.523	401.298	325.353	1019.518	1177.176	1087.544
MAPE	8.419	3.848	5.061	3.688	2.493	1.887	3.157	3.667	3.302

주: $^{*}p<.10$, $^{**}p<.05$, $^{***}p<.01$. SIC는 Schwarz Information Criterion을 의미함.
DL은 독립변수의 현재항과 시차항이 포함된 모형을 의미함.

〈표 2〉 가전기기 전체보급대수 ARDL 추정 결과 (계속)

변수 및 통계치	냉장고			에어컨		
	AR	DL	ARDL	AR	DL	ARDL
α	1145.167*	-22612.24**	1141.073**	311.352	36570.85*	-4929.456
y_{t-1}	0.943***	-	0.565***	1.053***	-	0.838***
y_{t-2}	-	-	-	-	-	-
noh_t	-	0.002***	0.000*	-	-0.002*	0.000
τ	-	-567.849**	-	-	1449.893***	-
R2	0.98	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99
AIC	14.094	14.132	13.975	15.124	15.338	15.175
SIC	14.194	14.281	14.124	15.223	15.488	15.325
RMSE	329.106	245.795	304.376	514.525	449.296	506.087
MAPE	1.687	1.182	1.607	6.324	8.692	6.358

주: $^{*}p$<.10, $^{**}p$<.05, $^{***}p$<.01. SIC는 Schwarz Information Criterion을 의미함.
DL은 독립변수의 현재항과 시차항이 포함된 모형을 의미함.

먼저 TV를 보면, 결정계수(R^2)의 경우 세 가지 모형에 대해서 각각 0.95, 0.86, 0.94로 나타났는데, 이는 모형의 설명력이 전반적으로 높은 편임을 제시한다. 예측오차를 판단하는 통계치인 RMSE와 MAPE는 DL모형이 가장 작게 나타났다. 세탁기도 R^2 값이 세 가지 모형에 대해서 각각 0.96, 0.96, 0.98로 높게 나타났으며, RMSE와 MAPE 값 모두 ARDL모형에서 가장 작게 나타났다. 선풍기도 R^2 값이 세 가지 모형에 대해서 각각 0.96, 0.92, 0.97로 높게 나타났으며, RMSE와 MAPE 값 모두 AR모형에서 가장 작게 나타났다. 냉장고의 결정계수(R^2) 값은 세 가지 모형 모두 0.97 이상으로 설명력이 높은 것으로 나타났으며, RMSE와 MAPE 값은 DL모형이 가장 낮은 것으로 나타났다. 에어컨의 결정계수(R^2) 값 역시 세 가지 모형 모두 0.98 이상으로 설명력이 높은 것으로 나타났다. MAPE값은 AR모형이 가장 낮고, RMSE 값은 DL모형이 가장 낮은 것으로 나타났다.

예측오차를 판단하는 통계치인 RMSE를 기준으로 세탁기의 경우 ARDL모형, 선

풍기의 경우 AR모형, 그리고 TV, 냉장고, 에어컨의 경우 DL모형의 결과를 이용하여 전체보급대수를 2016년부터 2022년까지 예측하고자 한다.

2. 신규 및 교체대수 예측

매년 새롭게 구입되는 가전기기에는 신규 구입 이외에도 해당 가전기기의 수명으로 인한 교체 구입이 추가된다. 따라서 새로운 에너지 소비효율 기준[8]이 새로 구입하는 가전기기뿐만 아니라 교체하는 가전기기에도 적용되기 때문에 두 가지의 교체대수를 모형에 포함해야 한다. 이에 신규 및 교체대수를 아래의 식 (5)에 제시된 바와 같이 계산하였다.

$$ST_t = S_t + R_t \tag{5}$$

여기서 ST_t는 t시점의 전체 신규 및 교체대수를 의미하며, S_t는 t시점에 새롭게 증가한 보급대수(신규 보급대수), 그리고 R_t는 t시점의 교체대수를 의미한다.

전력거래소의 '2011년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사' 자료에 가정용 기기별 평균 사용 연수는 TV 6.62년, 세탁기 6.99년, 선풍기 7.07년, 냉장고 7.00년, 에어컨 5.92년으로 제시되어 있다. 이는 t시점에 신규로 구매하거나 교체되어서 구입된 가전기기가 't+r'시점 이후에 교체되어야 함을 의미한다. 여기서 r은 평균사용연수를 의미한다. 따라서 앞의 추정식 (1)에 의해 산출된 전체구입대수의 년 간 변화를 신규구입대수로 가정하고, 기기별 평균 사용기간 이전에 신규로 구입했던 전자기기의 교체대수를 포함하여 신규 및 교체대수(ST_t)를 추정하였다. 그 결과는 <표 3>에 제시되어 있다.

8) 지식경제부가 2012년 12월 '효율관리 기자재 운용규정' 개정안을 확정함에 따라, TV, 냉장고, 세탁기, 전기밥솥 등 주요 가전기기의 에너지 소비효율 기준이 대폭 강화되었다.

3. 가전기기별 에너지 절감량 예측

〈표 3〉 신규 및 교체대수 예측 결과 (단위: 대)

연도	TV				
	신규(S_t)	교체(R_t)	신규 및 교체(ST_t)	5% 신뢰구간	
2016	346,888	579,935	926,823	926,441	927,205
2017	296,034	1,101,438	1,397,472	1,397,090	1,397,854
2018	240,331	1,289,289	1,529,620	1,529,238	1,530,002
2019	178,744	578,578	757,322	756,940	757,704
2020	168,964	487,495	656,459	656,077	656,841
2021	168,813	437,131	605,944	605,562	606,325
2022	168,964	391,431	560,394	560,013	560,776
	세탁기				
	신규(S_t)	교체(R_t)	신규 및 교체(ST_t)	5% 신뢰구간	
2016	347,683	196,596	544,280	544,186	544,374
2017	307,925	233,282	541,207	541,113	541,301
2018	280,588	495,531	776,119	776,025	776,213
2019	265,521	390,338	655,859	655,765	655,953
2020	259,490	385,822	645,312	645,218	645,406
2021	258,169	306,250	564,419	564,325	564,513
2022	258,503	373,491	631,993	631,899	632,087
	선풍기				
	신규(S_t)	교체(R_t)	신규 및 교체(ST_t)	5% 신뢰구간	
2016	322,399	223,262	545,661	545,375	545,947
2017	301,589	223,262	524,851	524,565	525,137
2018	282,123	223,262	505,385	505,099	505,671
2019	263,913	276,126	540,039	539,753	540,325
2020	246,879	1,205,771	1,452,650	1,452,364	1,452,936
2021	230,943	367,202	598,145	597,859	598,431
2022	216,037	343,500	559,537	559,251	559,823
	냉장고				
	신규(S_t)	교체(R_t)	신규 및 교체(ST_t)	5% 신뢰구간	
2016	127,124	184,358	311,482	311,382	311,582
2017	114,634	312,436	427,070	426,970	427,170
2018	100,954	358,571	459,525	459,425	459,624
2019	85,829	184,025	269,854	269,754	269,953
2020	83,427	161,656	245,083	244,983	245,182
2021	83,390	149,287	232,676	232,577	232,776
2022	83,427	138,063	221,490	221,390	221,589

〈표 3〉 신규 및 교체대수 예측 결과 (계속) (단위: 대)

	에어컨				
	신규(S_t)	교체(R_t)	신규 및 교체(ST_t)	5% 신뢰구간	
2016	737,886	679,248	1,417,134	1,416,968	1,417,301
2017	750,681	548,032	1,298,713	1,298,546	1,298,880
2018	764,697	500,766	1,265,463	1,265,296	1,265,630
2019	780,193	679,590	1,459,783	1,459,616	1,459,950
2020	782,654	702,507	1,485,161	1,484,994	1,485,328
2021	782,692	715,180	1,497,872	1,497,705	1,498,038
2022	782,654	726,678	1,509,332	1,509,166	1,509,499

지식경제부가 2012년 12월 '효율관리 기자재 운용규정[9]' 개정안을 확정함에 따라, TV, 냉장고, 세탁기, 전기밥솥 등 주요 가전기기의 에너지 소비효율 기준이 대폭 강화되었다. TV, 시스템에어컨, 김치 냉장고 등의 에너지 소비효율 1등급 비중을 10% 이내로 대폭 축소한 이 개정안이 2013년부터 시행되었다. 따라서 전자기기 효율기준이 강화됨에 따라, 제도시행 이후에 전기효율이 높아진 제품이 출시되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존에 구비되어 있는 가전기기 중 에너지효율등급이 높은 가전기기로 인한 감축량은 고려하지 않고, 신규 및 교체대수에 해당되는 가전기기를 에너지효율이 높은 기기로 교체하는 것을 가정하여 에너지 절감량을 산정하고자 한다.

보급된 가전기기의 전기 절감은(kWh)은 신규 및 교체대수, 평균용량(W), 연간 사용시간, 절감률을 곱하여 다음과 같이 식(6)에 의해 계산할 수 있다.

$$ES_i = sp_i \times (ST_i \times W_i \times TH_i) \tag{6}$$

9) '효율관리 기자재 운용규정'이란, 보급량이 많고 그 사용량에 있어서 많은 에너지를 소비하는 기자재 중 에너지이용합리화에 필요하다고 지식경제부장관이 인정하여 지정한 에너지 사용기자재에 적용되는 의무규정으로, 지식경제부가 고시한다. 제품의 에너지 소비효율 또는 사용량에 따른 에너지 소비효율 등급(1-5등급)라벨 의무표시, 제조업자 또는 수입업자의 효율등급 의무 신고, 5등급 기준 미달제품에 대한 생산·판매 금지 등을 그 내용으로 한다.

여기서 ES_i는 i품목의 t시점의 에너지 절감량을 의미하며, sp_i는 i품목의 에너지 절감률, ST_i는 i품목의 t시점의 신규 및 교체대수를 의미하며, W_i는 i품목의 와트, TH_i는 i품목의 연간 사용시간을 의미한다.

<표 4>에 에너지 소비효율 3등급 제품에 비해 1등급의 제품의 전기 절감률이 제시되어 있다. 본 연구에서는 에너지 소비효율 기준이 대폭 강화된 개정안이 발효된 이후의 신규 및 교체대수를 이용하여 계산하기 때문에, 계속해서 기준이 강화되면 등급 간 에너지 효율의 차이가 점차 줄어들 것으로 예상하고 절감률을 10%와 20% 두 가지 시나리오로 가정하고자 한다. 또한 최대 잠재치를 계산하는 것이기 때문에, 신규 및 교체대상 기기들은 모두 에너지 소비효율 1등급 제품으로 교체하는 것으로 가정하였다.

〈표 4〉 각 가전기기의 에너지 절감 계산을 위한 자료

	TV	세탁기	선풍기	냉장고	에어컨
평균 소비전력* (W/h)	162.8	215.5	59.0	57.0	1750.3
가구 평균 연간 사용시간* (h)	1,837	237	593	8,760	206
가구 평균 연간 사용량* (W)	298,623	58,253	34,952	499,608	357,768
에너지 소비효율 3등급 제품 대비 1등급 제품의 전기효율**	50.4% 절약	26.9% 절약		15.6% 절약	20.4% 절약
	42인치	10kg		700l	10kw 미만

자료: *전력거래소, 2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사.
**에너지관리공단 효율관리제도 홈페이지 http://bpms.kemco.or.kr/efficiency_system

이를 바탕으로 하여 <표 4>의 자료들을 식 (6)에 적용하여 신규 및 교체대수에 바탕을 둔 전국 가구 에너지 절감량을 추정하였고, 그 결과가 <표 5>에 제시되어 있다. 또한 이러한 신규 및 교체대수가 가전기기의 수명기간 동안 누적될 것이기 때문에, 2015년부터 2022년까지 특정연도에 누적된 1등급 가전기기로 인한 에너지 절감량 추정치가 <표 5>에 제시되어 있다. 누적은 평균적인 크레딧 인정 기간을 6년으로 가정하고 계산하였다.

제시된 결과에서 TV, 세탁기, 선풍기의 경우 그 수치가 증가하지 않고 등락을 반복하는 모습을 보이고 있는데, 이는 <표 1>에 제시된 것처럼 이 가전기기들의 1993년-2013년 추정기간 동안 보급대수가 계속해서 증가하는 모습이 아닌 증감의 모습을 가지기 때문이다. TV의 경우 2006년을 기준으로 등락의 모습을 보이고 있으며, 세탁기는 2011년까지 증가하다가 2013년에 감소하는 모습을 보이고 있다. 그리고 선풍기의 경우 2009년까지 증가하다가 2011년에 잠시 하락하였고, 그 후 2013년에 다시 증가하는 모습을 보이고 있다.

4. 가전기기별 탄소 저감량 추정

<표 5>에 제시된 에너지 절감량을 탄소로 환산한 값이 <표 6>에 제시되어 있다. 이 값은 전력거래소 2010년 사용단[10] 기준으로 '이산화탄소 저감량 = 가전기기의 에너지 절감량 × 전력의 이산화탄소 배출계수 0.4705 CO_2t/mWh'를 이용하여 산출하였다.

2016년부터 1등급 가전기기를 구매한 가정에게 평균수명에 해당되는 기간만큼 매년 10% 혹은 20% 절감을 인정하고 이것에 해당하는 만큼 크레딧을 주는 것으로 가정하였다. 앞부분에서 살펴본 것처럼, 전자기기별로 사용기간이 조금씩 다르기 때문에 평균에 해당되는 값인 6년을 가정하였다. 6년의 기간만큼을 인정하는 것이기 때문에 누적치 계산에 있어서 6년 후에는 이전의 1등급 가전기기로의 신규 및 교체로 인한 크레딧을 제외하여야 한다. 하지만 6년 후에 이 가전기기가 다시 교체되는 것을 감안하면 서로 상쇄되기 때문에, 신규 및 교체로 인한 탄소저감을 시간의 흐름에 따라 그대로 누적하여 더해도 문제가 없을 것으로 판단된다.

10) 전력배출계수는 발전단, 사용단, 화력종합으로 구분된다. 발전단 계수는 송배전손실율이 적용되지 않은, 즉 발전소 자체에서의 배출계수이며, 사용단 계수는 일반 가정 및 공장에서 전기 사용 시 적용되는 계수로 각 0.4517 CO_2t/MWh, 0.4705 CO_2t/MWh 이다 (전력거래소 2010년 기준). 사용단 계수가 발전단 계수보다 높은 이유는 송배전손실율이 적용되었기 때문이다.

VI. 결 론

국가의 중·장기 온실가스 감축 목표 달성을 위한 실행과제인 '온실가스 배출권 거래제도'가 2015년부터 시행되면서, 온실가스 배출권 거래시장의 활발한 운영에 도움이 될 상쇄제도 도입의 필요성이 부각되고 있다. 이에 따라 상쇄 크레딧의 수요량 및 공급량의 도출을 통한 상쇄제도의 설계가 필요한 시점이다.

본 연구의 목적은 한 가지 민간부문을 선정하여 모형분석을 통해 상쇄 잠재공급량을 산출하는 데에 있다. 구체적으로는 가전기기가 매년 새롭게 구매되거나 교체되는데, 이때 소비자가 현재 사용하고 있는 에너지 소비효율등급 가전기기가 아닌 보다 에너지 고효율적인 가전기기를 구매하는 경우 이로 인한 에너지 절감량과 탄소 저감량이 얼마나 될 것인지 추정하고자 하였다. 추정에는 시계열모형 중 ARDL을 사용하였다.

〈표 5〉 전국 가구 가전기기 에너지 절감량 추정: 신규+교체, 누적

(단위: kW)

	신규 및 교체				
연도	TV	세탁기	선풍기	냉장고	에어컨
10% 가정					
2016	17,392,349	4,174,720	1,941,584	33,968,214	25,351,179
2017	18,173,706	4,173,656	1,941,584	33,254,289	51,069,871
2018	33,499,573	1,871,886	2,520,232	24,163,279	49,959,094
2019	24,089,217	2,796,539	1,975,862	29,444,817	48,271,609
2020	26,635,079	3,242,218	93,594	31,358,817	51,751,493
2021	24,923,413	3,109,897	2,188,192	33,007,626	53,782,923
2022	25,080,738	3,058,239	4,011,245	33,759,261	55,539,598
20% 가정					
2016	34,784,699	8,349,439	3,883,167	67,936,429	50,702,358
2017	36,347,412	8,347,313	3,883,167	66,508,579	102,139,741
2018	66,999,146	3,743,772	5,040,463	48,326,558	99,918,187
2019	48,178,435	5,593,077	3,951,725	58,889,635	96,543,218
2020	53,270,157	6,484,436	187,187	62,717,635	103,502,986
2021	49,846,826	6,219,794	4,376,383	66,015,251	107,565,845
2022	50,161,477	6,116,479	8,022,490	67,518,521	111,079,196

〈표 5〉 전국 가구 가전기기 에너지 절감량 추정: 신규+교체, 누적 (계속)

(단위: kW)

	누적				
연도	TV	세탁기	선풍기	냉장고	에어컨
	10% 가정				
2016	42,109,600	8,598,142	6,243,975	87,723,652	98,888,959
2017	60,283,306	12,771,798	8,185,559	120,977,941	149,958,830
2018	93,782,879	14,643,684	10,705,791	145,141,220	199,917,924
2019	117,872,096	17,440,223	12,681,653	174,586,037	248,189,533
2020	132,355,911	18,436,474	12,173,240	179,670,995	250,781,968
2021	144,713,337	19,368,916	10,661,048	185,197,042	280,186,169
2022	152,401,726	18,252,435	12,730,709	184,988,089	310,374,588
	20% 가정				
2016	84,219,201	17,196,283	12,487,949	175,447,307	197,777,919
2017	120,566,613	25,543,596	16,371,116	241,955,885	299,917,660
2018	187,565,759	29,287,369	21,411,579	290,282,443	399,835,847
2019	235,744,194	34,880,446	25,363,304	349,172,078	496,379,065
2020	264,711,823	36,872,948	24,346,477	359,341,993	501,563,934
2021	289,426,676	38,737,832	21,322,093	370,394,086	560,372,335
2022	304,803,454	36,504,871	25,461,416	369,976,179	620,749,173

〈표 6〉 1등급 가전기기 구매로 인한 탄소 저감량 추정 (단위: CO_2t)

	신규 및 교체					누적				
연도	TV	세탁기	선풍기	냉장고	에어컨	TV	세탁기	선풍기	냉장고	에어컨
10% 가정						10% 가정				
2016	8,183	1,964	914	15,982	11,928	19,813	4,045	2,938	41,274	46,527
2017	8,551	1,964	914	15,646	24,028	28,363	6,009	3,851	56,920	70,556
2018	15,762	881	1,186	11,369	23,506	44,125	6,890	5,037	68,289	94,061
2019	11,334	1,316	930	13,854	22,712	55,459	8,206	5,967	82,143	116,773
2020	12,532	1,525	44	14,754	24,349	62,273	8,674	5,728	84,535	117,993
2021	11,726	1,463	1,030	15,530	25,305	68,088	9,113	5,016	87,135	131,828
2022	11,800	1,439	1,887	15,884	26,131	77,422	9,644	6,273	99,399	169,161
20% 가정						20% 가정				
2016	16,366	3,928	1,827	31,964	23,855	39,625	8,091	5,876	82,548	93,055
2017	17,101	3,927	1,827	31,292	48,057	56,727	12,018	7,703	113,840	141,111
2018	31,523	1,761	2,372	22,738	47,012	88,250	13,780	10,074	136,578	188,123
2019	22,668	2,632	1,859	27,708	45,424	110,918	16,411	11,933	164,285	233,546
2020	25,064	3,051	88	29,509	48,698	124,547	17,349	11,455	169,070	235,986
2021	23,453	2,926	2,059	31,060	50,610	136,175	18,226	10,032	174,270	263,655
2022	23,601	2,878	3,775	31,767	52,263	154,844	19,289	12,546	198,797	338,321

분석 결과, 에너지 고효율 제품의 구매로 가능한 탄소 저감량은 냉장고와 에어컨의 경우 2015년부터 2022년까지 전반적으로 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 TV, 세탁기, 선풍기의 경우 등락의 모습을 보이고 있는데, 이는 전술한 바와 같이 이 가전기기들의 전체구입대수가 증가하는 모습이 아닌 등락의 모습을 보이고 있기 때문이다. 또한 전기 절감률 20% 가정 시, 2022년의 고효율 가전기기 구매로 인한 잠재 탄소 저감량은 723,797 CO_2t으로, 2016년의 229,195 CO_2t과 비교하여 494,602 CO_2t이 증가하였는데 이는 약 316%에 해당되는 수치이다. 품목별 잠재 탄소 저감량을 살펴보면, 에어컨이 가장 감소량이 큰 것으로 분석되었고, 그 뒤를 이어 냉장고, TV, 세탁기, 선풍기 순으로 나타났다.

최근 제품별 에너지 소비효율의 변별력을 높이고 업체들의 기술혁신을 촉진시키기 위해 품목별로 에너지 소비효율 1등급 비중을 10% 이내로 축소시키는 '효율관리 기자재 운용규정' 개정안이 입법되고, 전력사용량이 많은 대형기기에 대한 강화된 효율기준이 적용되었다. 따라서 향후 주요 가전기기의 에너지 소비효율 기준이 더 강화될 것으로 예상된다. 이에 에너지 소비효율이 높은 가전기기의 사용을 통한 잠재 상쇄 공급량을 확보하기 위해서는, 1등급 소비효율 가전기기를 구매한 가정에 대해 특정 금액 이상이 되면 정부에서 이를 상쇄(offset) 크레딧으로 인정해주고 배출권 거래제도의 할당업체는 이를 구매할 수 있도록 하는 방안이 필요하다. 또한 고효율조명기기로 인한 탄소저감 크레딧 및 가정이 아닌 외부부문에서의 탄소저감 크레딧과 병행한다면 더 큰 효과를 발휘할 수 있을 것으로 보인다.

[References]

1. 마이더스, "온실가스 배출권시장, 아직은 유명무실", 2015. http://www.yonhapmidas.com/issue/bigissue/2015-03/150308161952_547467
2. 김완중, "인도네시아의 교역조건과 투자 관계", 아시아 연구, 제17권, 제1호, 2014.
3. 노동운, "지역별 온실가스 감축 잠재량 및 감축비용 분석", 지역개발연구, 제43권, 제1호, 2011.

4. 민동기, “제조업 전력 사용 효율성 제고를 통한 온실가스(CO_2) 감축 잠재량 추정에 관한 연구”, 환경정책연구, 제9권, 제3호, 2010.
5. 박종진·소철호·김진오, “확산 모형을 이용한 고효율기기의 보급량 예측에 관한 연구”, 에너지공학, 제17권, 제1호, 2008.
6. 백정명·원종률·이병하·김정훈, “가정용 에어컨 효율기준 강화에 따른 CO_2산정연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제23권, 제1호, 2009.
7. 서화·심성훈, “중국의 주택가격과 거시경제변수 관계 분석”, 아시아 연구, 제16권, 제3호, 2013.
8. 심성훈, “주택가격과 기초경제여건의 장기 관계 : 우리나라의 패널 자료를 이용하여”, 국제지역학회, 제16권, 제1호, 2012.
9. 에너지관리공단 효율관리제도, http://bpms.kemco.or.kr/transport_2012/main/main.aspx,, 2015. 3. 21.
10. 이종원, 『계량경제학』, 박영사, 2007.
11. 임현진·정수관·원두환, “지구온난화가 가정부문 에너지 소비량에 미치는 영향 분석: 전력수요를 중심으로”, 에너지경제연구, 제12권, 제2호, 2013.
12. 전력거래소, “2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사”, 2011.
13. 전력거래소, “2013년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사”, 2013.
14. 최문성, “전자상거래가 부가가치세 징수실적에 미치는 효과”, e-비즈니스 연구, 제13권, 제4호, 2012.
15. 통계청, “2010년 인구주택총조사”, 2010.
16. 진형아·여소영·윤소원·김대곤·서정현·홍유덕·한진석, “녹색생활 실천에 따른 가정부문의 이산화탄소 감축잠재량 및 경제적 효과 분석”, 한국대기환경학회지, 제29권, 제5호, 2013.
17. Besmann, T. M., “Projections of US GHG reduction from nuclear power new capacity based on historic levels of investment,” Energy Policy Vol. 38, No. 5, 2010, pp. 2431～2437.
18. Cai, W., Can Wang, Ke Eang, Ying Zhang, and Jining Chen, “Scenario analysis on CO_2 emissions reduction potential on China’s electricity sector,” Energy Policy, Vol. 35, No. 4, 2007, pp. 6445～6456.
19. Kadian, R., R. P. Dahiya, and H. P. Garg, “Energy-related emissions and mitigation

opportunities from the household sector in Delhi.," Energy Policy, Vol. 35, No. 12, 2007, pp. 6195～6211.

20. Menyah, K. and Y. W. Rufael, "CO_2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US," Energy Policy, Vol. 38, No. 6, 2010, pp. 2911～2915.
21. Pesaran, M. H. and Y. Shin., "An Autoregressive Distributed Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis," Oxford, Oxford University Press, 1999.
22. Pesaran, M. H., Y. Shin and R. J. Smith., "Bounds testing approaches to the analysis of level relationships." Journal of Applied Econometrics Vol. 16, 2001, pp. 289～326.
23. Takse, K. and Tatsujiro Suzuki, "The Japanese energy sector : Current situation, and future paths," Energy Policy, Vol. 39, No. 11, 2011, pp. 6731～6744.
24. Zhanga, L. X., C. B. Wanga, and B. Songb, "Carbon emission reduction potential of a typical household biogas system in rural China," Journal of Cleaner Production, Vol. 47, 2013, pp. 415～421.