

고효율기기의 보급시기별 특성을 고려한 새로운 보급모형의 제안 및 장려금 지원 방안 연구

황성욱* 원종률** 이병하*** 김정훈*
 *홍익대학교 **안양대학교 ***인천대학교

A Development of New Diffusion Models Considering the Time-Variant Diffusion Status of High-Efficient Appliances and the Enhancement of Rebate Programs

Sungwook Hwang* Jongryul Won** Byungha Lee*** Junghoon Kim*
 *Hongik University **Anyang University ***Incheon University

Abstract - There are some rebate programs for energy efficient appliances, which are lightings, vending machines, ASDs, motors, transformers, pumps, to reduce national energy consumption in Korea. In existing studies, some diffusion models have been applied to the rebate program case. But those studies could not consider various cases in duration, amounts, whether or not, of rebates. Hence, new diffusion models considering the time-variant diffusion status are proposed for high-efficient appliance rebate programs in this paper. The case study shows the application of these model into some high-efficient appliances.

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 소비가 지속적으로 증가하면서 사용 가능한 에너지 자원이 계속하여 감소함으로써 심각한 에너지 문제에 직면하고 있으며, 화석연료 사용으로 인한 온실가스 배출의 증가로 지구 환경을 악화시키고 있다. 우리나라의 경우에는 1970년대 이후 급격한 산업화의 진행으로 높은 경제성장률과 더불어 에너지 사용량의 높은 증가 추세를 보여 왔고, 현재까지도 꾸준하게 증가를 보이고 있다. 이에 따라 다음과 같은 에너지 관련 문제에 직면하고 있다. 첫째, 2005년 현재 에너지 수입액이 전체 수입액의 25%를 넘고 약 98%의 에너지 자원을 수입에 의존하고 있다. 둘째, 전체 에너지 소비율의 증가폭이 둔화하고 있는 반면 1인당 에너지 소비 증가율은 2000-2005년 기준으로 3.3%로서 일본의 0.4%에 비교할 때 높은 수준이다. 셋째, 에너지 소비 패턴이 유럽이나 일본의 지속가능성이 아닌 미국, 캐나다 등과 같은 과소비형으로 갈 가능성이 큰 상황과 와 있다. 넷째, IEA (International Energy Agency) 자료에 의하면 에너지 원단위가 2004년 기준으로 0.348 TOE/US천\$로서 일본의 0.108 TOE/US천\$에 비해 3배 이상이다. 따라서 이러한 에너지 문제들을 분석하여 국민들이 이해하기 쉽고 수용성이 높은 정책을 개발해야 할 필요가 있다.

각 국가들은 국가별 상황과 특징을 고려하여 그에 상응하는 에너지 정책을 추진하고 있는데, 이들 정책은 크게 보면 에너지 공급 측면과 수요 측면으로 나눌 수 있다. 공급 측면에서는 재생이 불가능한 기존의 화석연료가 아닌 지속가능한 에너지원인 신재생에너지 자원을 개발하는 연구가 진행되어 실용화 초기 단계까지 와 있기는 하나, 많은 투자와 노력이 경주하였는데도 불구하고 신재생에너지가 담당할 수 있는 에너지 양이 기대와는 달리 적어서, 오히려 최근 그 비중이 감소하고 있는 원자력 에너지에 대한 관심이 다시 높아지고 있는 실정이다. 수요 측면의 에너지 정책은 다시 에너지 부하를 관리하는 방법과 에너지 사용 기기의 효율을 향상시키는 방법으로 구분할 수 있다. 부하관리는 마치 풍선의 한 쪽을 누르면 다른 쪽이 튀어나오는 것과 같이 에너지 수요를 단기 또는 장기로 시간적인 이전을 시키는 것으로서, 최대부하를 감소시켜서 설비투자의 저감 또는 지연 효과, 즉 설비 투자 회비에 효과가 있지만 에너지 사용량 측면에서는 효과는 거의 없다고 볼 수 있고, 매년 같은 비용을 투자하여야 하는 지속성이 없다는 특징이 있다. 이와 달리 효율 향상은 최대부하 삭감 효과는 적은 반면 에너지 절감 문제에 초점이 맞춰져 있는 것으로서, 한번 정책 시행으로 그 효과가 지속된다. 예를 들어 기존 기기를 고효율기기로 한 번 교체하면 계속 사용이 됨으로써 에너지 절감이 지속되는 장점이 있다. 현재까지 효율 향상에 의한 에너지 절감량이 많지는 않으나, 대기전력 1W 프로그램과 비교하면 상당히 큰 양에 해당된다고 할 수 있다. 이와 같은 이유로 선진 각국은 효율 향상에 주력하고 있는 실정이다.

이에 따라 우리 정부도 다른 나라와 같이 국가가 주도하여 에너지사용 합리화법에 의한 다양한 고효율기기 보급 프로그램을 수립하여 추진해

오고 있다. 우리나라의 대표적인 프로그램으로는 에너지소비효율등급표시제도, 에너지절약마크제도, 고효율에너지기자재인증제도, 건물에너지효율등급인증제도 등이 있다. 또한, 1993년 조명기기를 시작으로 고효율기기 도입 시 직접적인 금전적 지원을 하는 장려금 지원제도를 시행해왔다. 제도 시행 이후 몇 번에 걸쳐 장려금 수준과 지원 기준, 예산 문제 등에 따라 제도의 변화가 부분적으로 있었고, 현재는 대상 기기들의 계속적인 지원 여부, 장려금 지원 기간 및 수준, 최저효율제와 같은 타 제도와의 연동 시행 등의 문제점을 고려하여 새롭게 개선해야 할 시점과 와 있다. 이러한 제도의 연동은 보급 초기에는 장려금제도로 효율 높은 제품이나 기술에 투자비 관점의 지원을 해주고, 보급 최대 시점 이후에는 최저효율제를 시행하여 저효율 제품의 생산 및 판매를 금지하여 시장에서 퇴출하는 형태로 이루어진다. 그리고 효율기준과 정부 물품조달 기준 등 관련한 여러 제도가 같이 연동되어야 그 효과를 극대화시킬 수 있다. 이렇게 현재 시행 중인 우리나라 장려금 지원제도의 문제점을 일관성 있게 해결하기 위해서는 이론적인 배경을 갖고 있는 체계적인 모형의 개발이 필요하며, 이는 기존의 수요관리 분야에서 이용되어온 확산모형을 활용하여 구현할 수 있는데, 이들 모형에 장려금 지원을 반영하여 보급 특성을 분석할 수 있도록 개량할 필요가 있다. 이어서 장려금 지원을 반영한 모형에 장려금 수준, 지원 기간, 타 제도 연동 등의 내용으로 여러 가지 시나리오를 구성하여 가장 합리적인 개선 방안을 도출할 수 있게 된다.

2. 보급시기별 특성을 고려한 장려금 반영 보급모형의 개발

이상과 같은 문제점에 대하여 모든 기기에 대하여 일관성을 갖고 해결할 수 있는 모형을 개발할 필요가 있는데, 기존 연구에서 기기의 보급 특성에 대하여는 확산모형, 가격 특성에 대하여는 학습모형이 활발히 이용되어왔다[1]. 이는 고효율기기가 시장에서 어떻게 보급되고 가격이 어떻게 변화하는지 분석함으로써 향후의 변화를 추정하여 제도의 시행 시점을 판단하는 것이다. 특히, 광고 및 장려금 효과를 반영한 수정확산모형이 연구된 바 있으나[1], 기기마다 보급 특성이 다르고 광고 또는 장려금에 의해 영향을 받는 특성 또한 달라서 일관성을 갖고 적용하기에는 문제점이 있다. 이에 따라 본 논문에서는 [1]에서 개발한 모형을 변형하여 세 가지로 제시하였다. 이러한 확산모형을 이용한 장려금 지원제도의 시행 시기 및 장려금 수준을 결정하는 연구는 국내에서 최초로 시행되는 것이다. 한편, 학습모형을 이용하기 위해서는 보급량 자료와 함께 가격변화 추이 자료가 확보되어야 하는데, 현재 우리나라는 기기의 가격변화 추이에 관한 정보가 체계적으로 정리되어 있지 않고 있다. 해도 2-3년 이하의 단속적인 정보만 존재하여 학습모형을 적용하는데 문제가 많다. 이에 따라 향후 선형연구로서 자료수집 관련 연구가 필요하다고 할 수 있다.

장려금 지원을 반영한 모형을 세 가지로 나누면, 첫 번째 모형은 혁신계수와 모방계수의 효과에 동일하게 반응하는 모형으로 보급이 10년 정도 이상 진행된 경우에 적용하는 것이 적합하다. 두 번째 모형은 혁신계수의 효과에 민감하게 반응하는 모형으로서 4-5년 이하의 보급 초기의 단계에 적용하기에 적합하고, 세 번째 모형의 경우에는 보급 실적 자료가 매우 부족한 경우에 적합한 모형이다. 세 가지 모형 모두 확산모형에서 혁신계수(p)와 모방계수(q)를 어떤 방식으로 표현하는가에 의해 차이가 난다.

2.1 보급중기모형

이 모형에서 장려금 지원은 혁신계수(p)와 모방계수(q)를 모두 변화시킨다고 가정한다. 즉, 장려금의 영향을 직접적으로 받는 경우(혁신계수)와 간접적으로 받는 경우(모방계수)를 모두 고려한다. p_0 와 q_0 는 각각 장려금 지원이 없을 경우의 혁신계수와 모방계수이다.

$$N(t) = m \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p(t)} e^{-(p+q)t}} \quad (2.1)$$

$$p = p_0 + af_i(A) \quad (2.2)$$

$$q = q_0 + bf_i(A) \quad (2.3)$$

$$f_i(A) = \ln A(t) \quad (2.4)$$

위의 식(2.4)에서 A(t)는 다음과 같이 구성된다. 이는 기기가격에 대한 장려금의 영향을 반영하기 위한 것으로, 시간의 흐름에 따라 장려금이 초기에 더 영향을 많이 준다고 가정하여 로그함수로서 표현하였다. 따라서, 장려금 지원이 없을 경우의 혁신계수 및 모방계수에 장려금 반영을 더하는 형태로 계수가 조정된다.

$$A(t) = \frac{\text{기기가격}}{\text{기기가격} - \text{장려금}} \quad (2.5)$$

2.2 보급초기모형

보급 초기 모형은 보급 주기 모형과 혁신계수의 표현을 제외하고는 모두 같다. 보급 초기 모형에서 식 (2.2)는 $p = p_0 \cdot S^{f_i(A)}$ 이 된다. 여기서, S는 보급변동 반응계수이다. 보급 특성의 현상을 바탕으로 하여 S는 100으로 설정하였는데, 100으로 설정한 경우에 현상적으로 가장 잘 맞았기 때문이다.

2.3 보급개시모형

장려금 지원 제도가 다양하게 변화하여 온 것을 반영하여 혁신계수 p가 변하는 것으로 모델링을 하여 아래의 식을 제안하였다. 모방계수 q는 일정하다고 가정하였다.

$$p = (p_0 + a \cdot \ln A)(1 - \exp(-\frac{B_{\text{lim}}}{b})) \quad (2.6)$$

$$q = q_0 \quad (2.7)$$

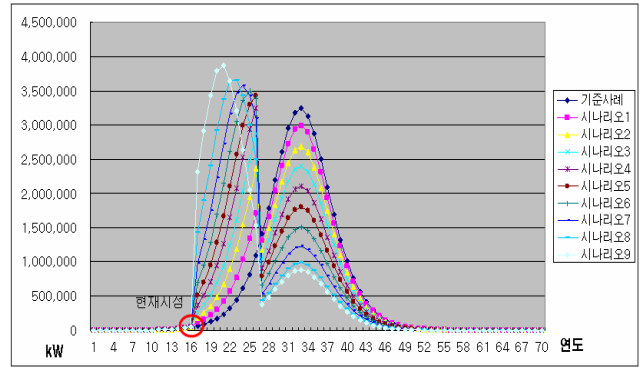
$$0 < p, \quad 0 < q, \quad 0 < p+q \leq 1$$

여기서, a와 b는 상수이고, B_{lim} 는 지원 상한액이다. 장려금 지급상한액을 고려하기 위하여 장려금의 지급액에 상한이 있는 경우는 확산이 충분히 이루어지지 못하므로 $(1 - \exp(-\frac{\text{지원상한액}}{b}))$ 의 항에 의해 반영 되도록 하였다. 이 지원 상한액을 고려하는 항을 살펴보면 지원 상한액이 없으면 지원 상한액이 무한대가 되어 이 항의 값은 1이지만, 지원 상한액의 제약이 있으면 영보다는 크나 1보다는 작은 값으로 되어 이 값이 곱하여지면 p의 값은 줄어들게 되어 확산이 감하여지게 된다. 한 예로서 B_{lim} 가 b와 같은 지원 상한액의 제약이 주어지면, 혁신계수 p의 값은 지원 상한액의 제약이 없는 경우의 값에 약 0.632를 곱한 값으로 줄어든다.

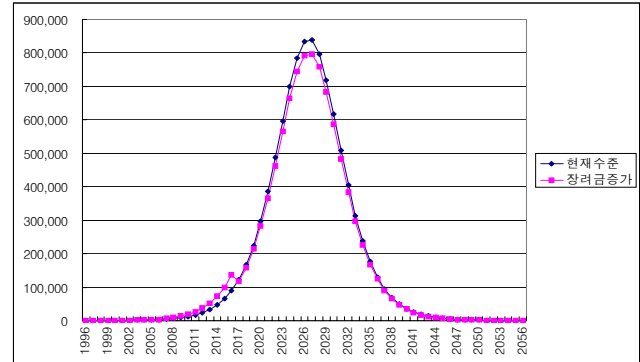
위 식에서 p+q의 값이 1에 접근하는 경우는 검토할 필요가 없는 케이스에 해당되나, 위의 식에서 장려금을 기준가격에 해당하는 만큼을 지불하면 즉 공짜로 설치해 주는 수준에 이르면 1의 값을 초과하는 경우가 발생한다. 이런 경우는 발생해서는 안 되는 경우이며, 검토할 가치가 없다. 따라서 p+q의 값이 1을 초과하는 경우는 주어진 조건식에 의하여 p+q=1이 되는 것으로 하고 이때까지의 경우만을 분석한다. a와 b의 상수와 p₀, q₀의 값은 주어진 데이터를 사용하여 최소자승법을 적용하여 구한다.

3. 사례 연구

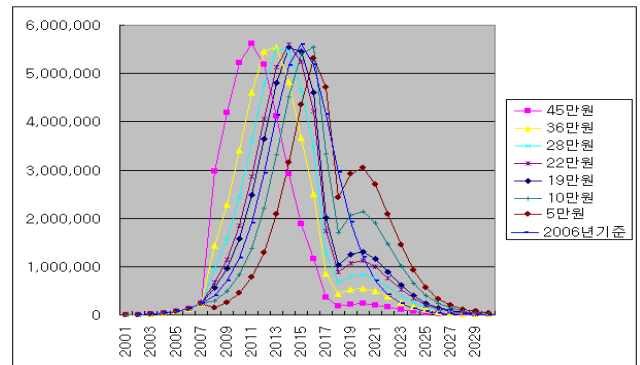
제안한 세 가지 모형을 장려금 지원제도 대상기기인 전동기, 변압기 및 인버터에 적용하였다. 사례연구에 사용된 장려금 지급 시나리오는 연구의 연속성을 위하여 기존 연구 [2][3][4]의 경우와 같도록 하였다. 고효율전동기의 경우에는 1990년 이후에 보급이 시작되었기 때문에 보급 초기모형을 적용하였고, 고효율변압기는 보급 시기가 2-3년 이하로서 보급초기모형을 적용하였다. 고효율인버터의 경우에는 보급 자료가 미흡하고 제도의 변화가 잦아서 보급개시모형을 적용하였다. 각 모형을 적용한 결과는 각각 다음 <그림 1>, <그림 2>, <그림 3>과 같다. 고효율전동기의 경우에는 장려금 수준을 현재의 약 4.3배, 고효율변압기의 경우에는 현재 수준의 2-5배로 증액하고, 고효율인버터의 경우에는 지수함수적으로 감소시키는 것이 적합한 것으로 판단되었다.



<그림 1> 고효율전동기의 보급주기모형 적용 결과



<그림 2> 고효율변압기의 보급초기모형 적용 결과



<그림 3> 고효율인버터의 보급개시모형 적용 결과

4. 결론

본 논문에서는 장려금 지원제도의 개선 방안 도출을 위한 방법론으로서 장려금 지원을 고려한 보급모형을 기기의 보급시기에 따라 보급주기모형, 보급초기모형 및 보급개시모형으로 제안하였으며, 이를 각각 전동기, 변압기, 인버터에 적용하고 개선 방안을 도출하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-150) 주관으로 수행된 과제임

[참고 문헌]

- [1] 통상산업부, DSM 잠재량 평가와 모니터링을 위한 기법 개발 및 활용방안 연구 최종보고서, 1998
- [2] 황성욱 외, "장려금 지원을 반영한 보급모형을 이용한 고효율전동기의 보급특성 분석", 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 175-177, 2007
- [3] 원종률 외, "고효율변압기의 보급추정 및 국내외 장려금 비교분석", 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 160-162, 2007
- [4] 백정명 외, "고효율인버터의 보급추정 및 지원제도 개선점 분석 연구", 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 175-177, 2007