

# 학습곡선 및 보급모형 분석을 통한 TV의 대기전력 절감량 추정 방법론에 관한 연구

論 文

58-2-4

## A Study on the Estimation Methodology for the Stand-by Energy Savings of Televisions Using Learning Curves and Diffusion Models

金正勳<sup>\*</sup>

(Jung Hoon Kim)

**Abstract** - In this paper, an estimation methodology for stand-by energy savings of electric appliances is proposed and some case studies are carried out for televisions. The methodology is based on learning curves and diffusion models, which are able to explain the market characteristics such as market prices and the diffusion speed. Some models were developed to estimate power and energy savings for high-efficient appliances and these model have been used broadly. These models are also applied to this study and modified to estimate stand-by energy savings.

**Key Words** : Stand-by Power, Energy Saving, Learning Curve, Diffusion Model, Television

### 1. 서 론

현재 우리나라의 대기전력 저감정책은 대기전력 최소화를 유도하는 자발적 협약 성격의 대기전력 저감프로그램과 2008년 8월 세계 최초로 도입된 '경고표시제'로 대표된다. 경고표시제는 경고표시 위반시 벌금을 부과하여 일종의 강제성을 부여하고 있으며, 저감기준을 만족하는 제품에 대하여는 임의표시로 하고 있는 실정이다[1][2]. 이 정책을 홍보하기 위하여 각 기기별로 대기전력 저감 효과를 데이터로 제시하고 있는데, 일반 TV의 대기전력은 7W, 에너지절약마크가 표시된 TV의 대기전력은 3W로서 57%의 에너지를 절감하는 것으로 제시하고 있으나[3], 기기의 시장 특성을 합리적으로 반영한 실제적 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 방안이 필요한 실정이다. 기존 연구[4]에서는 조명기기, 전동기, 인버터 등을 대상으로 확산모형을 이용하여 고효율기기의 보급추이를 예측하고 전력 및 에너지 절감의 모니터링 모형을 개발하여 수요관리 정책을 수립하기 위한 방법론으로 제시하였고, [5]에서는 TV를 비롯한 주요 전기기기를 대상으로 학습곡선을 도출하여 기기 가격 측면에서 수요관리 정책을 다룰 수 있는 방안을 제안하였다. 현재 대기전력 저감 효과는 정책의 시행에 따라 보급되는 기기가 바로 나타난다고 보고 있는데, 일반적으로 새로운 기술이 적용되는 기기는 가격이 증가하기 때문에 소비자의 입장에서는 구매 판단에 있어서 일정 시간이 소요된다고 보는 것이 타당하므로 에너지 절감 효과 역시 시간 지연을 나타낸다고 할 수 있다. 한편, 소비자의 특성에 따라 대기전력 소비를 줄이기 위해 기기의 전원 자체를 차단하는 경우도 있는데 현재 알려져 있는 절감 효과는 이를 반영하지 않은 것이다. 따라서, 본 논문에서는 대기전력 저감을 위한 기술의 반영은 기기의 가격 증가와 이에 따른 소비자의 행동 특성으로 보급 속도의

지연을 가져온다고 가정하고, 이러한 현상을 표현할 수 있는 학습곡선과 보급모형을 이용하였다. 이러한 방법론은 대기전력 저감정책의 시행 성과 및 향후 방향을 판단하기 위한 도구로서 활용할 수 있고, 보다 정밀한 결과를 도출하기 위한 전 단계로서 역할을 할 수 있으리라 사료된다.

### 2. 본 론

#### 2.1 대기전력 저감정책에 의한 에너지 절감량 추정 방법론

일반적으로 대기전력을 소비하는 주요 전기기기는 TV, 오디오, 컴퓨터, DVD 플레이어 등 디지털 제품으로서 조명기기, 전동기, 인버터 등과는 정책이 다르다. 즉, 전자의 경우에는 제조업체들 사이의 시장 경쟁에서 고효율 기술이 중요한 요소로 작용하기 때문에—고객들 역시 고효율기술이 적용된 제품을 원하기 때문에—정부 주도의 정책이 없어도 에너지 절감 효과가 자연스럽게 나타난다. 반면에 후자의 경우에는 수명이 길거나, 설치하고 잊어버리는 경향이 강한 기기들이고 주요 고객이 설비업자들이기 때문에 에너지 절감의식이 낮아서 정부 주도의 정책이 필요하다는 차이점이 있다. 한편, 이러한 가전제품들은 제조업체 자체적으로 고효율 기술을 적용하고 있음에도 불구하고, 전반적으로 소비전력이 커지고 있고 대기전력을 소비하는 기기의 종류가 지속적으로 늘어나고 있기 때문에 대기전력의 저감이 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 맥락에서 앞서 언급한 대기전력 관련 정책들이 시행되고 있는데, 관리해야 할 대기전력의 규모가 커짐에 따라 에너지 절감 효과의 산출에 있어서 기기의 보급 특성과 시장가격 추이를 합리적으로 고려할 필요가 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 대표적인 디지털 가전제품인 TV의 시장 가격변화와 보급의 관계를 학습곡선을 이용하여 분석하고 보급모형을 도출하여 대기전력 저감에 의한 에너지 절감량을 추정한다. 이러한 방법론은 본 논문을 통해 처음 제시되는 것으로서 그 절차를 그림 1에 나타내었다.

\* 교신저자, 正會員 : 弘益大學校 電子電氣工學部 教授 · 工博

E-mail : kimjh@hongik.ac.kr

接受日字 : 2008年 12月 30日

最終完了 : 2009年 1月 19日

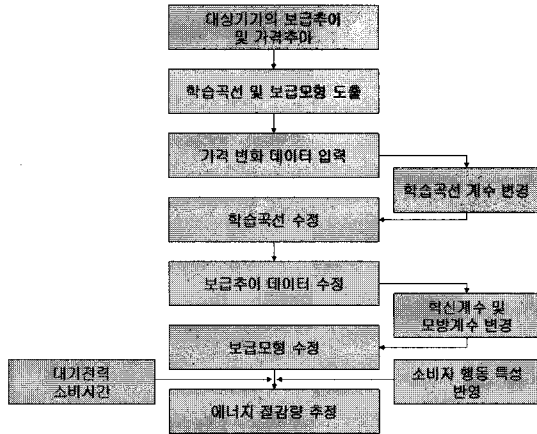


그림 1 대기전력 저감정책에 의한 에너지 절감량 추정  
Fig. 1 Energy Saving Estimation by Standby Power Policies

2.2 기기의 가격변화에 따른 학습곡선 변동

본 논문에서는 고효율 기술을 적용한 기기가 기존 기기보다 가격이 높고, 이로 인해 보급을 지연시킨다고 가정하였다. 이러한 가격 변화는 학습곡선의 변화를 가져오는데, 학습곡선은 기기 가격과 보급대수의 함수 관계를 나타낼 뿐, 보급시점에 대한 정보는 주지 않기 때문에 그림 2에 보급시점을 별도로 표시하였다. 이 정보는 보급모형 도출에 있어서 해당되는 시점의 보급량 변화 정보가 된다.

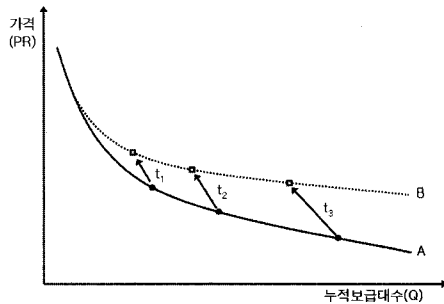


그림 2 기기의 가격변화에 따른 학습곡선 변동  
Fig. 2 Learning Curve Change by Price Change

그림에서 A는 대기전력 저감기술을 반영하지 않은 경우의 학습곡선이고, B는 대기전력 저감기술을 반영한 경우의 학습곡선을 나타내며, 가격의 상승에 따라 기기의 보급증가가 상대적으로 줄어든 것을 보여주는데, 보급시점  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ 을 보면 가격 상승에 따른 보급 지연을 알 수 있다. 각 곡선은 식 (1)과 (2)로 표현할 수 있는데, 가격 변화에 따라 새롭게 생성된 학습곡선으로부터 동일한 보급시점의 새로운 보급대수  $QN$ 을 추정할 수 있다.

$$PR = aQ^{-b} \tag{1}$$

$$PRN = a_N QN^{-b_N} \tag{2}$$

여기서,  $PR$ : 대기전력기술 미반영시 가격  
 $PRN$ : 대기전력기술 반영시 가격  
 $Q$ : 대기전력기술 미반영시 보급대수  
 $QN$ : 대기전력기술 반영시 보급대수

$a, b$ : 대기전력기술 미반영시 학습곡선 계수  
 $a_N, b_N$ : 대기전력기술 반영시 학습곡선 계수

2.3 기기의 가격변화를 반영한 보급모형 도출

본 논문에서는 도출하고자 하는 보급모형은 기존의 모형 [5]이 정책의 효과에 대한 시간적인 지연을 반영하지 못한 것과 달리 위의 학습곡선에 의해 도출된 보급량의 변화를 반영하여 보급모형을 재구성한다. 즉, 기존 연구에서는 고효율기기 정책이 기기의 보급을 촉진하는 것까지만 고려한 반면에, 여기서는 고효율기기가 기존 기기에 비해 가격이 높은 것으로 인해 보급 지연을 가져온다는 것을 가정하고 반영한 것이다. 이는 보급모형에서 혁신계수와 모방계수의 변화를 의미하며, 그림 3에서 보듯이 가격의 변화 시점, 즉 대기전력 저감기술이 적용되는 시점을 기준으로 모형을 분리하게 된다. 이를 다음 식 (3)에 나타내었다.

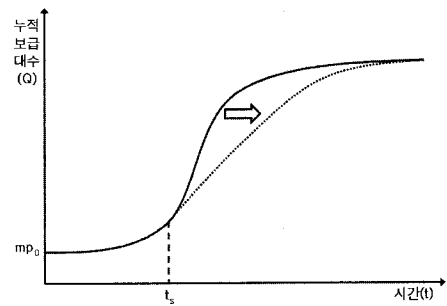


그림 3 기기의 가격변화를 고려한 확산모형  
Fig. 3 Diffusion Curve Considering Price Change

다음 식 (3)에서  $p_0$ 와  $q_0$ 는 대기전력 저감기술이 적용되기 이전의 혁신계수 및 모방계수로써 통상적인 보급모형을 나타내고,  $p_N$ 과  $q_N$ 은 대기전력 저감기술이 적용되는 시점부터 반영되는 새로운 혁신계수와 모방계수이다. 새로운 계수들은 앞의 학습곡선 추정을 통해서 도출된  $QN$ 을 이용하여 최소자승법을 통해 추정한다.

$$Q(t) = m \cdot \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \tag{3}$$

여기서,  $Q(t)$ :  $t$ 시점의 기기의 누적보급대수  
 $m$ : 기기의 잠재량  
 $p = p_0, q = q_0, t < t_s$   
 $p = p_N, q = q_N, t \geq t_s$   
 $t_s$ : 대기전력 저감기술 적용 시점

2.4 대기전력기기의 에너지 절감량 추정

본 논문에서는 기존의 다른 연구에서 기기가 작동하는 시간을 제외한 모든 시간에 대기전력을 소비한다고 가정한 것과는 달리 소비자의 행동 특성에 따라 전원을 완전히 차단하기도 하므로 이를 별도 계수로서 도입하였다. 이는 추후 설문 조사와 같은 통계적 방법을 통해 경험값으로 반영할 필요가 있으며, 본 논문에서는 방법론으로서만 제안한다. 이를 [4]에서 개발한 전력량모형에 반영하여 나타내면 식 (4)와 같다.

$$ESV(t) = Q(t) \cdot PSB \cdot TSB \cdot OFF \quad (4)$$

여기서,  $ESV$ : t 시점의 대기전력 저감기기 보급에 의한 에너지 절감량

$Q(t)$ : t 시점의 대기전력 저감기기 보급대수

$PSB$ : 대기전력 저감기기가 절감하는 대기전력(kW)

$TSB$ : 대기전력 저감기기의 연간 대기전력 소비시간(h)

$OFF$ : 기기의 전원을 완전히 차단하는 비율

### 2.5 사례 연구

본 논문에서는 대기전력 소비가 점점 증가하고 있는 TV를 대상으로 사례 연구를 수행하였다. 먼저, TV의 보급대수는 가전기기 보급률 조사 연구[6]와 통계청의 자료로부터 추정할 수 있다. TV의 가격은 물가지료에서 확인할 수 있으며, 제조업체별로 상이하므로 평균값을 사용하였다. 가격은 물가지수를 고려하여 불변가로 변환하였다. 본 논문에서 사용한 TV의 보급대수와 가격 자료를 표 1에 나타내었다.

표 1 TV의 연도별 누적보급대수 및 가격

Table 1 Accumulative Diffusions and Prices of TV

| 연도   | 누적보급대수     | 불변가격(원) |
|------|------------|---------|
| 1997 | 17,787,504 | 860,885 |
| 1998 | 18,198,336 | 795,675 |
| 1999 | 18,609,168 | 783,745 |
| 2000 | 19,020,000 | 761,200 |
| 2001 | 20,365,136 | 718,435 |
| 2002 | 21,710,272 | 693,610 |
| 2003 | 22,187,807 | 665,276 |
| 2004 | 22,910,067 | 637,587 |
| 2005 | 23,345,729 | 617,000 |
| 2006 | 23,781,390 | 600,294 |

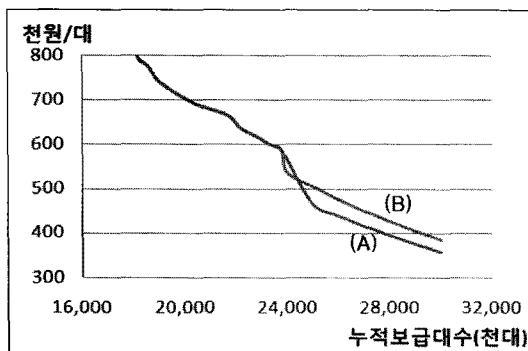


그림 4 대기전력 저감기술 반영 학습곡선

Fig. 4 Learning Curve Considering Standby Power Technologies

TV의 누적보급대수와 가격 변화 추이로부터 학습곡선을 그림 4와 같이 추정하였다. (A)는 대기전력 저감기술이 반영되지 않았다고 가정할 때의 학습곡선이며, 향후 더 효율적인 대기전력 저감기술이 적용된다고 가정할 때, 기술 개발 및 적용에 따른 상승된 가격을 반영하면 곡선은 (B)가 된다.

앞에서 도출된 보급대수의 변화를 보급모형에 반영하면 다음 그림 5와 같다. 대기전력 저감기술이 반영되지 않는다면 (a)와 같이 보급이 진행될 것이고, 반영된다면 (b)와 같

이 보급이 진행될 것이다. 이때 식 (4)에 의하여 대기전력 저감정책에 의한 TV의 에너지 절감량을 추정하면, 2010년에는 약 238 GWh로 예상된다. 이는 기존 연구와 마찬가지로 연간 2313시간을 대기전력 소비시간으로 가정하였고, 기존기기보다 약 7W의 대기전력을 감소시키며, 연간 약 15일(휴가기간)을 기기의 전원을 완전히 차단한다고 가정한 결과이다.

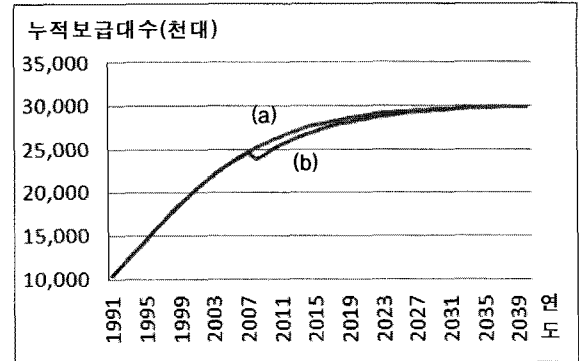


그림 5 대기전력 저감기술 반영 확산모형

Fig. 5 Diffusion Curve Considering Standby Power Technologies

### 3. 결 론

본 논문에서는 대기전력 저감정책 시행의 성과 및 향후 방향을 판단하기 위한 하나의 도구로서 학습곡선과 보급모형의 분석을 기반으로 한 대기전력 저감에 의한 에너지 절감량 추정 방법론을 제시하고 TV를 대상으로 사례 연구를 수행하였다. 일반적으로 대기전력 저감정책을 통해 보급되는 기기가 에너지 절감 효과를 바로 나타낸다고 보는 것과 달리, 본 논문에서는 대기전력 저감을 위한 기술의 반영은 기기의 가격 증가와 이에 따른 소비자의 행동 특성으로 보급속도의 지연을 가져온다고 가정하였다. 에너지 절감량의 산출에 있어서는 기존의 대기전력 소비시간을 단순히 반영한 것과 달리 소비자 행동 특성에 따라 전원을 완전히 차단할 수 있다는 점을 고려하여 모형을 수정 제안하였다. 향후에는 대기전력 소비에 대한 소비자 행동을 정밀 반영할 수 있는 통계 연구가 요청되며, 본 논문에서 보다 확장된 학습곡선과 확산모형의 수리적 연계에 관한 연구가 요청된다.

### 감사의 글

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

### 참 고 문 헌

- [1] 산업자원부, 에너지이용합리화법, 2007.12.27
- [2] 지식경제부, 대기전력저감 프로그램 운용규정, 2008.8.28
- [3] 에너지관리공단 홈페이지
- [4] 산업자원부, DSM 잠재량 평가와 모니터링을 위한 기법 개발 및 활용방안 연구 최종보고서, 1998
- [5] 황성욱 외, "신기술 보급 및 DSM 정책이 부하기 학습곡선에 미치는 영향", 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp. 435-437, 2001
- [6] 전력거래소, 가전기기 보급률 조사, 2006