

전력산업 경쟁 환경에서의 요금부하모델 수립을 위한 부하기기의 학습곡선 분석

황성욱\* 김정훈\* 송경빈\*\* 최준영\*\*\*  
 \*홍익대학교 \*\*계명대학교 \*\*\*전주대학교

Analysis on learning curves of end-use appliances for the establishment of price-sensitivity load model in competitive electricity market

Hwang, Sung-Wook\* Kim, Jung-Hoon\* Song, Kyung-Bin\*\* Choi, Joon-Young\*\*\*  
 \*Hong-Ik University \*\*Keimyung University \*\*\*JeonJu University

**Abstract** - The change of the electricity charge from cost base to price base due to the introduction of the electricity market competition causes consumer to choose a variety of charge schemes and a portion of loads to be affected by this change. Besides, it is required the index that consolidate the price volatility experienced on the power exchange with gaming and strategic bidding by suppliers to increase profits. Therefore, in order to find a mathematical model of the sensitively-responding-to-price loads, the price-sensitive load model is needed. And the development of state-of-the-art technologies affects the electricity price, so the diffusion of high-efficient end-uses and these price affect load patterns. This paper shows the analysis on learning curves algorithms which is used to investigate the correlation of the end-uses' price and load patterns.

1. 서 론

전력산업 구조개편 따라 전력요금은 입찰(bidding)을 통하여 결정되어 비용기준에서 가격기준으로 바뀌게 되고, 소비자는 다양한 요금의 전력을 구입하게 된다. 따라서 요금에 대한 관심이 올라갈 것이고 요금에 따라 부하는 많은 영향을 받게되므로 부하 설비의 개발에 영향을 주게 된다. 부하 설비는 요금 불감 설비와 요금 민감 설비로 나눌 수 있게 되고 이것은 또한 신기술 개발 설비와 현 기술 발전 설비로 나뉘지며 각각이 다른 형태로 발전될 것이다. 본 연구에서는 이러한 요금에 대한 부하의 변화에 대한 개념적인 체계를 제안하고, 과거의 자료를 정리하여 주요 부하기기를 대상으로 학습률을 추정하여 보고 이를 분석하여 부하를 분류할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 개별 부하기기의 누적 생산량에 따른 평균원가, 총원가, 또는 한계원가에 대한 자료를 이용하여 기기별 학습곡선을 구성한 뒤, 학습률을 추정할 수 있다. 따라서, 관련 자료인 부하기기별 생산대수 자료, 기기별 가격자료 등을 분석하고, 기기별 보급현황, 물가지수 등의 자료를 활용하여 개별 부하기기의 학습률을 찾아내기 위한 알고리즘을 제시한다.

2. 전력가격과 부하기기 가격의 관계

전기공급자는 전력요금을 낮추어 받을 수 있는 전략개발, 즉 전기의 다양한 상품화 및 기술발전과 경영효율제고를 통하여 회사의 수익을 높일 것이고, 소비자는 저렴한 요금의 전기를 공급받으려 하고, 전력 사용량도 줄이려 할 것이다. 부하기기(전기 제품)를 개발하는 회사들은 저렴한 요금 시간대의 전기를 사용하여 효율보다 높은 시간대에 전기를 절약할 수 있는 제품을 생산하려고 하며, 전기 사용량을 줄일 수 있는 제품을 개발하면 판매가 증대될 것이므로 이에 노력할 것이다. 3가지의 경제 주체는 각각의 입장 차이로 인하여 상호 이해관계가 얽히게 되어 효과적으로 대처하지 않으면 국가적 이익의 관점에서도 문제가 야기될 가능성이 있다. 특히 수요관리(DSM) 부문은 가장 전문성이 떨어지는 소비자가 선택하게 되거나, 전력을 많이 판매하여야 이익이 생기는

공급자가 도입여부를 결정하게 되므로 이 부분의 조율을 담당해야 할 정부의 역할이 중요하게 된다. 본 논문에서는 이와 같이 전력 공급자, 소비자 및 부하기기 생산자, 세 주체 사이의 관계 가운데 요금부하모델과 DSM의 영향과 함께 전력 가격과 부하기기 가격이 어떠한 영향을 주고받는지를 학습 알고리즘을 통하여 규명하고자 한다. 이를 도식화하면 그림 1과 같다. 그림에서 본 연구에 해당하는 부분이 학습 알고리즘으로 진한 박탕에 흰 글씨로 나타내었고, 진한 회색으로 표시한 부분은 연구가 기 수행된 것을 나타내며, 옅은 회색 부분은 진행 중인 연구로 보완이 필요한 부분이다.

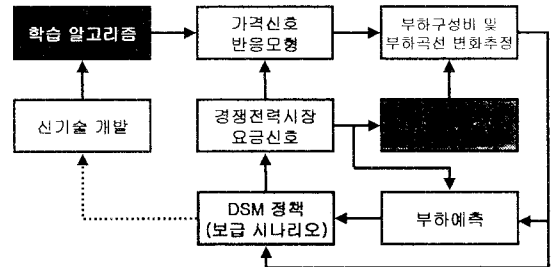


그림 1 요금부하모델과 학습 알고리즘과의 관계

3. 학습의 개요

학습곡선이란 반복된 작업에서 학습의 효과로 인해 제품원가가 감소하는 현상을 설명하기 위한 것으로서 직접 노동의 투입량이 누적 생산량의 증가에 따라 일정비율로 감소한다는 사실을 나타내는 곡선이다. 항공기 제조업에서 이 현상을 발견한 직후 다른 제조업 분야에 확대 적용되기 시작하였다. 이러한 학습현상이 존재하면 누적생산량이 증가함에 따라 평균원가가 체계적으로 감소하게 되는데 이를 식 (1) 과 같이 간단한 모형으로 수식화할 수 있다.

$$y = ax^{-b} \tag{1}$$

여기서, y : 평균원가의 추정치  
 x : 누적생산량  
 a : 첫 번째 단위의 생산원가  
 b : 학습곡선의 계수

학습률 r이란 누적 생산량이 2배가 되었을 때, 단위당 평균원가가 (1-r)×100 [%]만큼 감소한다는 의미이다. 즉, 학습률 r과 학습곡선의 계수 b사이에는 다음과 같은 관계가 성립하게 된다.

$$r = \frac{y'}{y} = \frac{a(2x)^{-b}}{ax^{-b}} = 2^{-b} \tag{2}$$

$$b = -\frac{\log r}{\log 2} \quad (3)$$

또한, 학습곡선을 추정하게 되면 해당 생산량의 총원가(total cost, TC)는 누적생산량과 단위당 평균원가의 곱이므로

$$TC = xy = ax^{1-b} \quad (4)$$

의 관계로서 구할 수 있고, 현재의 생산량에서 한 단위를 더 추가하여 생산할 때 필요한 비용, 또는 비용(투입량)을 독립변수로 하는 생산(산출량)의 함수에서 비용(투입량)의 변화율을 의미하는 한계원가(MC)는

$$MC = \frac{d(TC)}{dx} = a(1-b)x^{-b} \quad (5)$$

로써 구할 수 있다.

한편, 학습곡선의 추정은 생산량에 따른 평균원가, 총원가, 또는 한계원가에 대한 자료가 충분할 경우에는, 한 변수 혹은 여러 변수가 다른 변수에 미치는 영향력의 크기를 수학적 관계식으로 추정하고 분석하는 통계적 분석방법인 회귀분석(regression analysis)을 통하여 학습계수 b를 추정함으로써 가능하고, 반대로 자료가 불충분할 경우 유사제품의 경우를 이용하여 학습률 r을 추정한 뒤 앞에서 제시한 식(3)(4)(5)를 이용하여 생산원가를 추정함으로써 학습곡선을 찾아낼 수 있다.

#### 4. 학습률 추정방법

개별 부하기기의 학습률을 찾아내기 위해서는 해당 기기의 누적 생산량에 따른 평균원가, 총원가, 또는 한계원가에 대한 자료를 충분히 확보하여 기기별 학습곡선을 구성한 뒤, 식(3)을 이용하여 계산하면 된다. 따라서, 관련 자료인 부하기기별 생산대수 자료, 기기별 가격자료 등을 분석하고, 기기별 보급현황, 개별 요금부하모델링 연구에서 사용하였던 물가지수 등의 자료를 활용하여 개별 부하기기의 학습률을 찾아내기 위한 알고리즘을 제시한다.

##### 3.1 개별 부하기기의 학습률 추정을 위한 자료

###### 가. 부하기기별 생산대수

학습률 선정을 위한 첫 번째 입력자료로서 각 부하기기들의 생산 대수 추이를 살펴봐야 한다. 이 자료로부터 기기별 누적 생산 대수를 계산할 수 있다.

###### 나. 기기별 규격별 보급현황

한 종류의 개별 부하기기에도 규격별로 여러 가지가 있을 수 있다. 그러나, 개별 부하기기의 요금부하모델은 규격별로 추정되는 것이 아니므로 기기별 학습률도 단일 값이 산출되어야 할 것이다. 따라서, 하나의 개별 부하기기에 있어 대표 규격을 정하여 그 규격 기기의 자료를 학습률 추정 알고리즘의 입력자료로 선택하게 되는데, 여기에 사용되는 것이 기기별 규격별 보급현황이다. 한편, 첫 번째 입력자료로 사용한 각 부하기기들의 연도별 생산 대수에서는 규격별 생산대수 자료를 알 수 없으므로, 연도별 규격별 보급현황을 가중치로 곱하여 규격별 생산대수를 추정하도록 한다.

###### 다. 부하기기별 가격변화 추이

생산량에 따른 평균원가, 총원가에 대한 자료를 부하기기별 가격변화추이로서 갖게 된다. 원래는 생산자의 생산 원가 자료를 이용해야 하나 입수가 쉽지 않으므로 기기의 가격자료를 사용하는데, 기기 가격에는 일정 이윤이 포함되어 있지만 생산원가의 추이를 반영하는 데는 문제가 없을 것이다. 따라서, TV, 냉장고, 진공청소기

등 규격별 개별 부하기기들의 연간 가격을 물가지료집이나 한국물가협회 등에서 입수하여 사용하도록 한다.

###### 라. 물가지수

요금부하모델 추정 시와 마찬가지로 부하기기별 가격 자료를 사용하는데 있어서도 물가지수의 명목가치를 실질가치로 환산하는 디플레이터(deflator) 기능을 사용하게 되는데, 같은 액수의 기기 가격이라도 어떤 시점이나에 따라 그 가치가 틀리므로 물가지수를 사용하여 모든 해에 있어서의 돈의 가치를 동일하게 만들게 된다. 즉, 모든 시점에서의 가격은 물가지수를 이용하여 불변가(不變價) 개념으로 환산하여 사용하는 것이다.

##### 3.2 학습률 추정 알고리즘

앞서 살펴본 입력자료를 가지고 기기의 학습률을 추정하기 위한 순서는 다음과 같다.

- (1) 기기별 규격별 보급현황 자료를 근거로 각 부하기기의 대표규격을 선정한다.
- (2) 부하기기별 생산대수에 기기별 규격별 보급현황을 가중치로 곱하여 대표규격 기기의 연간 생산대수를 계산한다.
- (3) 연도별 규격별 기기 가격을 물가지수를 이용하여 불변가의 가격으로 전환한다.
- (4) 과정 (2)(3)을 통해 기기별 대표 규격 기기의 생산량에 따른 평균가격과 총가격 자료를 산출한다.

마지막으로 개별 부하기기의 학습률을 찾기 위한 알고리즘은, 산출된 생산량에 따른 평균 가격(원가)과 총 가격(원가) 자료를 가지고 편차 제곱의 총합의 최소화를 수행함으로써 변수를 결정하게 되는 최소자승법에 의해 식(6)과 같이 정식화할 수 있다.

$$\text{Min. } \sum_n [y - \hat{y}]^2 \quad (6)$$

여기서,

y : 기기별 실제 평균원가

$\hat{y}$  : 누적생산량과 첫 번째 단위의 생산 원가로 추정된 학습곡선

n : 자료의 개수

이와 같은 기기별 학습률을 추정하기 위한 알고리즘을 흐름도로 나타내면 다음의 그림 2와 같다.

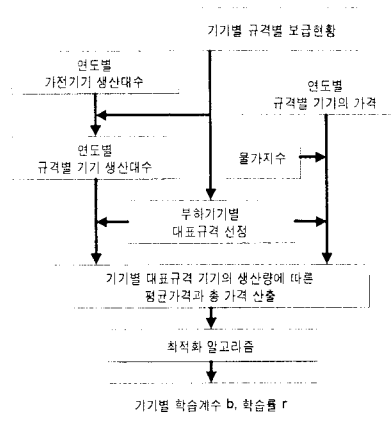


그림 2 부하기기별 학습률 추정 흐름도

## 5. 사례연구

주요 가전기기의 1991년~2000년 생산대수를 표 1에 보였다. 본 사례연구에서는 주요 가전기기 가운데 칼라 TV, 룸 에어컨, 냉장고, 세탁기에 대한 학습률 추정을 보였다.

표 1 주요 가전기기 생산(1991년~2000년)  
(단위:1000대)

구분 연도	칼라 TV	룸 에어컨	냉장고	세탁기
1991	13,451	835	3,229	2,156
1992	14,993	827	3,296	1,895
1993	15,376	657	3,584	2,199
1994	16,999	850	3,944	2,444
1995	18,556	1,488	3,976	2,826
1996	21,551	1,929	4,595	2,878
1997	16,408	1,954	4,256	2,967
1998	12,735	2,234	3,789	2,643
1999	15,529	3,801	4,741	2,822
2000	16,952	5,838	5,246	3,293

표 2의 TV 연도별 규격별 보유현황을 살펴보면 20인치 이하는 급격한 감소 현상을 보여 주고 있으며, 반대로 25인치 이상은 급격한 증가 현상을 보여주고 있다.

표 2 TV의 연도별 규격별 보유현황  
(단위:%)

규격(inch)	10-14	15-19	20-24	25-29	30이상
연도					
1993	29.6	23.7	35.2	11.3	0.3
1995	18.2	15.8	39.3	25.3	1.4
1997	14.2	17.7	34.5	32.4	1.4
2000	6.7	11.8	31.1	45.3	5.1

특히 25인치 이상 29인치 이하는 2000년에 1993년 대비 300%의 증가율을 보여주었으며, 10인치 이상 14인치 이하는 77.4%의 감소세를 보이고 있다. 이러한 25인치 이상의 대형 TV가 급증하는 것은 첨단기술의 발전과 더불어 60인치가 넘는 와이드 프로젝션 TV, 벽걸이 TV, 디지털 TV 등 신제품의 개발과 소득수준의 향상에 따른 구매욕구의 증대가 주요 요인으로 작용한 것이다. 1997년 이후의 추이로 볼 때 25~29인치 TV를 대표 규격으로 선정하고 학습률을 추정하도록 한다.

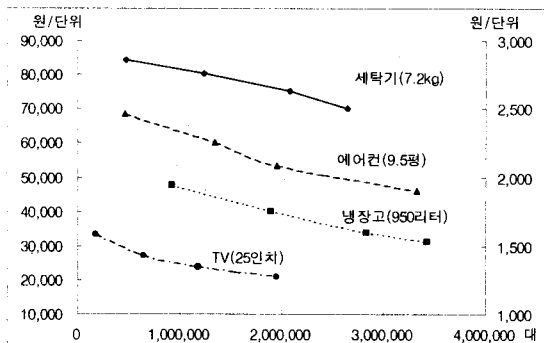


그림 3 가전기기의 누적생산대수에 따른 가격 변화

그림 3은 각 가전기기의 누적생산대수에 따른 가격의

하락을 나타낸다. 이들 자료를 이용하여 제안한 알고리즘에 따라 학습곡선을 추정하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 세탁기와 TV의 단위당 가격은 왼쪽의 세로축, 에어컨과 냉장고의 단위당 가격은 오른쪽의 세로축에 해당한다. TV의 경우 생산대수는 편의상 10을 나누어 표현하였다.

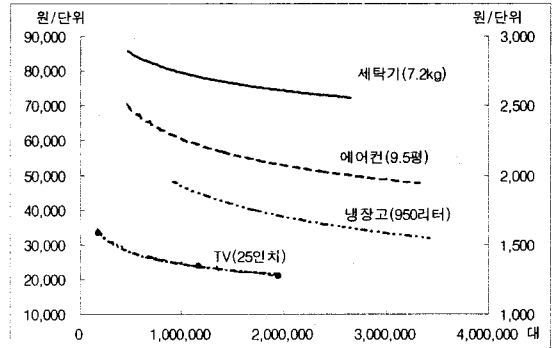


그림 4 개별 가전기기의 학습곡선

그림 4의 학습곡선으로부터 식 (1)의 계수 a와 b를 추정하면 다음 표 3과 같다.

표 3 학습곡선 계수

기기 계수	세탁기	TV	에어컨	냉장고
a	307,206	518,774	13,239	22,590
b	0.0979	0.1896	0.1278	0.1782

식 (2)에 의해 각 기기의 학습률을 산정하면 다음 표 4와 같다.

표 4 기기별 학습률

	세탁기	TV	에어컨	냉장고
학습률	93.4%	87.7%	91.5%	88.4%

## 6. 결 론

본 논문에서는 다양한 개별 부하기기의 연간 누적생산대수와 보급 현황 및 평균 가격을 고려하여 학습률과 학습곡선을 추정하였다. 추후 부하기기의 학습곡선 특성을 이용하여 요금에 부하기기 학습률에 미치는 영향의 수리 모델인 가격신호 반응모형의 개발이 필요하다.

※ 본 연구는 기초전력공학 공동연구소의 지원에 의해 수행되었음

## [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전력경제처, "가전기기 보급률 조사연구", 1997.12
- [2] 에너지경제연구원, "에너지 통계연보", 1999
- [3] 기초전력공학공동연구소, "전력산업 경쟁도입에 따른 요금 변화에 대한 부하모델수립 및 DSM 프로그램에 미치는 영향 평가에 관한 연구", 2000.10
- [4] 통계청 website, <http://www.nso.go.kr>
- [5] 산업자원부 에너지 통계시스템 website, <http://her.keei.re.kr:3081/procom2/>
- [6] 한국물가협회 website, <http://www.kprc.or.kr>