

Estimation of the Effect of DSM Program by Analyzing the Learning Curve of a Product

崔 峻 榮* · 宋 敬 彬**

(Joon-Young Choi · Kyung-Bin Song)

Abstract - In this paper, a new method for the estimation of the effect of DSM program is proposed. By identifying the learning curve of high efficient induction motor, the effect of DSM program applied to that product can be estimated. The learning curve of normal induction motor, to which no DSM program is applied, is identified also. Both learning curves, which are different shapes, means different learning ratio. It can be concluded that DSM program makes the learning curve of the product change the shape. It also can be concluded that DSM program has influence on the sale of the product to which it is applied.

Key Words : 수요관리, DSM, 학습곡선, Learning Curve, 학습률, 유도전동기

1. 서 론

경제성장 및 생활수준의 향상과 더불어 전기에너지의 수요가 해마다 증대되는 것을 충족시키기 위해 보다 많은 발전소가 설립되어야 하는데, 환경과 천연자원 보존을 중요하게 고려해야 한다는 생각을 하는 사람들의 수가 늘어남에 따라 새로운 전력발전소 건설은 현재 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 수요 증가에 따른 전력공급 능력 증진뿐만 아니라 전기에너지 이용 효율 향상을 통한 합리적인 수요절감으로 전력 소비자에게 불편을 주지 않으면서 전력 사용자를 만족시킬 수 있는 방법이 모색되고 있다. 이러한 방안중의 하나가 수요관리(Demand-Side Management)이다.

수요관리란 전력사용에 있어 전력 소비자의 전력 사용 패턴에 영향을 주어 부하 형태를 바람직한 방향으로 유도하여 예측된 전력수요의 감소 또는 평준화를 통하여 전력공급 설비 투자를 지연시키는 것과 기존 발전 설비의 이용 효율을 높임으로써 전력공급 비용의 절감을 가능하게 수행하는 활동을 의미하며, 전력공급 확충에 중점을 둔 공급관리(Supply-Side Management)에 대응되는 개념이다. 수요관리는 부하성장제어 및 부하곡선의 모델선택 등의 부하관리를 하는 발전사업자의 활동과 인센티브에 의한 소비자의 활동을 모두 포함하는 것으로 그 실행의 주된 목표는 부하의 모형을 변화시킴으로써 에너지 생산보다는 에너지 사용의 효율 증대를 수행하는 것이다. [1,2]

수요관리에는 여러 가지 구체적인 방법들이 있는데, 상당

수가 실제 도입되어 사용되고 있다. 예를 들어 심야전력요금제도, 주택용 전력사용량 누진요금제도, 고효율기기 보급 촉진제도 등이 대표적인 것들이다. 이러한 수요관리제도는 일반적으로 효과가 있을 것이라고 여겨지고 있는데 실제로 효과가 측정된 적은 별로 없다. [3-5]

이 논문에서는 고효율 기기의 보급을 촉진하기 위하여 보조금을 지급하는 제도가 얼마나 효과가 있는지를 제조업 분야에서 발견된 현상인 학습률과 학습곡선을 이용하여 알아보려고 한다. 보조금이 지급되지 않는 TV와 보급 촉진을 위해 보조금이 지급되는 고효율전동기의 학습곡선을 구하고 이를 비교하여 보조금의 영향을 알아보았다.

2. 학습곡선 및 학습률

2.1 학습곡선

학습곡선이란 반복된 작업에서 학습의 효과로 인해 제품 원가가 감소하는 현상을 설명하기 위한 것으로서 직접 노동의 투입량이 누적 생산량의 증가에 따라 일정비율로 감소한다는 사실을 나타내는 곡선이다. 항공기 제조업에서 이 현상이 발견된 직후 다른 제조업 분야에도 확대 적용되기 시작하였다.

반복적 성격을 갖는 작업에 있어서 장기적인 학습효과가 원가를 감소시키는 이유는 다음과 같다.

- 반복실행에 의한 학습의 결과로 노동의 효율성증대
- 새로운 공정개발 및 제조방법의 개선으로 인한 제조기술의 증진
- 제품의 재설계로 인한 고가부품의 대체에 따른 부품원가 절감
- 제품의 표준화로 인한 대량 생산

* 正 會 員 : 全州大 工學部 副教授 · 工博

** 正 會 員 : 崇實大 工大 電氣制御시스템工學部
傳任講師 · 工博

接受日字 : 2003年 9月 2日

最終完了 : 2004年 2月 12日

• 규모의 경제 효과

여기서 '규모의 경제 효과'란, 생산규모가 확대됨에 따라 생산량 1단위당 비용이 체감하는 것으로서, 투입량을 증가시키면 따라 산출량이 투입량 증가비율 이상으로 증가하는 것을 의미한다. 즉, 생산량이 증가할수록 평균비용이 낮아지는 현상을 말한다.

한편, 이러한 학습현상이 존재하면 누적생산량이 증가함에 따라 평균원가가 체계적으로 감소하게 되는데 이를 다음의 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

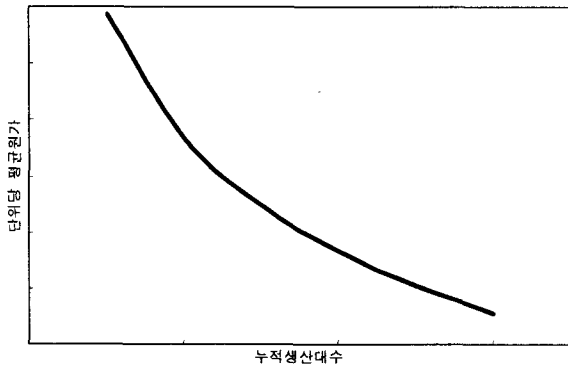


그림 1 학습곡선
Fig. 1 Learning curve of a product

위의 그림을 아래와 같이 간단한 모형으로 수식화할 수 있는데,

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

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

이를 학습모형이라 하며, 예를 들어 첫 번째 제품의 생산 원가가 10원이었고 두 번째 단위 생산시의 생산 원가가 6원이라면, 누적 총 원가는 16원이며 누적 평균 원가는 8원이 되어 이 제품의 생산에 있어서는 80%의 학습효과가 있다고 말할 수 있다.

2.2 학습률

앞의 학습모형 예에서 보면 학습률 r이란 누적 생산량이 두 배 되었을 때, 단위당 평균원가가 (1-r)×100 [%]만큼 감소한다는 의미이다.

즉, 학습률 r과 학습곡선의 계수 b사이에는 다음과 같은 관계가 성립하게 된다.

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

$$b = -\frac{\log r}{\log 2} \tag{3}$$

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

$$TC = xy = ax^{1-b} \tag{4}$$

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(marginal cost, MC)는

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

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 추정된 뒤 앞에서 제시한 식(3)~(5)를 이용하여 생산원가를 추정함으로써 학습곡선을 찾아낼 수 있다.

2.3 학습률 추정 방법

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. 이를 알고리즘으로 나타내면 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 평균 가격(원가)과 총 가격(원가) 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.

$$\text{Min. } \sum_{j=1}^n [y - \hat{y}]^2 \quad (6)$$

여기서, y : 누적생산량과 첫 번째 단위의 생산 원가로 추정된 학습곡선

\hat{y} : 기기별 실제 평균원가
 n : 자료의 개수

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

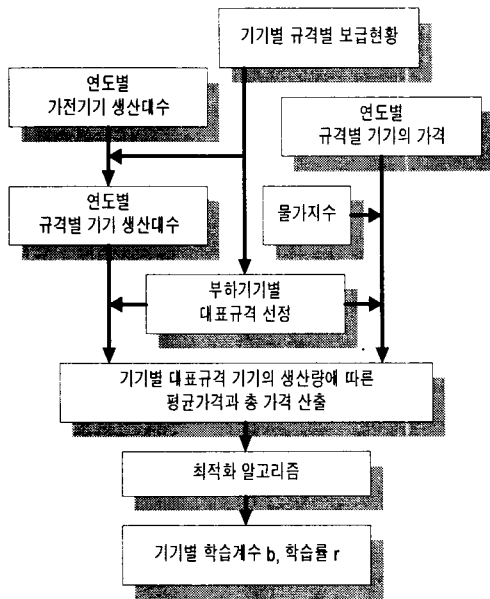


그림 2 부하기기별 학습률 추정 흐름도
 Fig. 2 Flowchart for the estimation of learning ratio of each product

3. 학습곡선의 추정

3.1 수요관리를 하지 않는 TV의 학습률

학습곡선 추정 알고리즘에 의하여 TV의 학습률을 추정한다. 앞서도 언급했듯이 원래는 이윤이 포함되어 있는 가격이 아닌 생산 원가 자료를 이용해야 하나, 이는 입수가 쉽지 않으므로 생산원가의 증감 추이를 반영할 수 있는 기기의 가격을 사용한다. 표 1은 대표 규격으로 선정한 25인치 TV의 생산대수와 물가지수를 통해 각 년도의 가격을 물가지수로 나누어 불변가 개념으로 환산한 가격이다. [13]

누적 생산량과 평균가격으로도 학습률을 추정할 수 있으나, 여기서 가장 많은 보급대수를 차지하는 25인치를 대표규격으로 선정하였고 이 규격을 단위당 평균가격으로 나타냄으로써 25인치를 비롯하여 다른 인치의 규격에서도 학습률의 특성곡선을 추정할 수 있을 것이다. 조사한 자료를 이용한 그림 3에서 각 규격의 가격이 인치에 비례하는 것을 알 수 있다. 표 1로부터 식(1)의 a, b를 찾기 위하여 누적 생산량 및 단위당 평균가격(원가)을 표 2와 같이 계산한다.

표 1 25인치 TV의 생산대수 및 가격
 Table 1 Price and number of TV sets sold

구분 연도	생산대수	가격	물가지수	조정된 가격
1993	1,737,488	754,000	90.1	837,033
1995	4,694,668	682,000	100.0	682,000
1997	5,316,192	659,000	109.6	601,277
2000	7,679,256	646,000	121.5	523,500

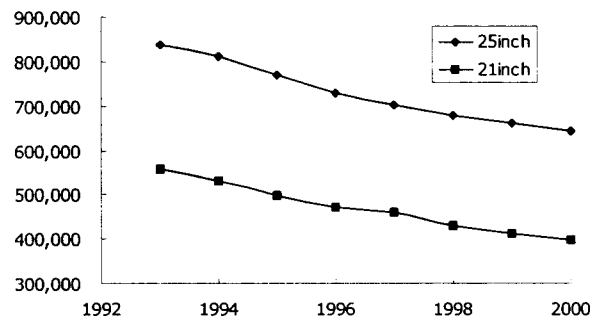


그림 3 TV의 연도별 인치당 가격
 Fig. 3 Unit price of TV set for years

표 2 25인치 TV의 누적생산량 및 평균가격
 Table 2 Average price and accumulated production number of 25inch TV sets

구분 연도	누적생산량	평균가격	단위당 평균가격
1993	1,737,488	837,033	33,481
1995	6,432,156	759,516	27,280
1997	1,1748,348	706,770	24,051
2000	1,9427,604	660,952	20,940

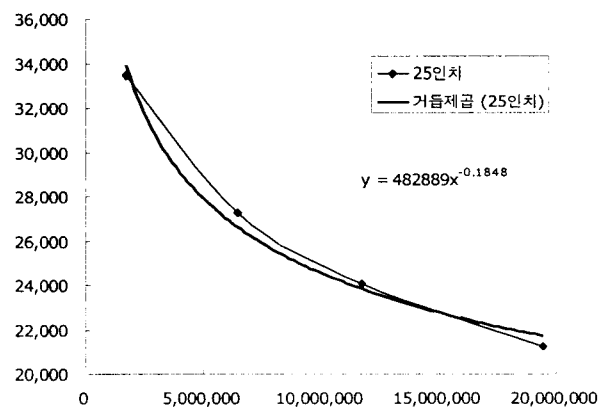


그림 4 25인치 TV의 학습곡선(단위당 가격)
 Fig. 4 Learning curve of 25 inch TV sets

결과로서 추정된 TV 부하의 학습곡선은 식(7)로 표시되고 이를 그림으로 그리면 그림 4와 같다.

$$y = 482889 x^{-0.1848} \quad (7)$$

이때 TV의 학습률 r_{TV} 는 식(2)에 의하여

$$r_{TV} = 2^{-0.1848} = 0.8798 \quad (8)$$

학습률 0.8797은 누적생산량이 2배로 증가되었을 때, 이전 가격의 약 88%로 가격이 하락한다는 뜻이다.

그림 5는 단위당 가격이 아닌 25인치 TV의 평균가격으로 학습곡선을 나타낸 것으로서, 학습률이 0.9362로 추정되는데 이는 단위당 가격의 학습률보다 높다. 즉, 생산대수 증가에 따른 가격 하락이 단위당 가격보다는 낮게 나타난다. 참고로 특별한 언급이 없는 한 이하 모든 그래프의 x축은 기기의 누적생산대수, y축은 가격을 나타낸다.

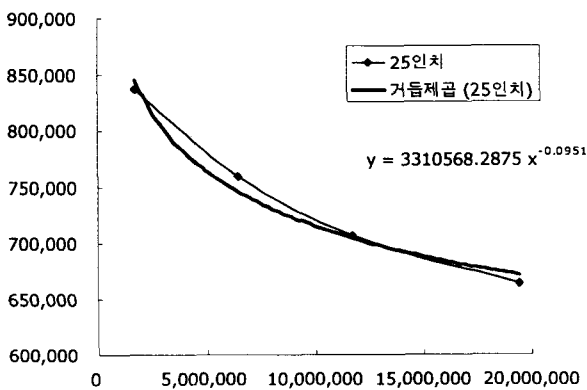


그림 5 25인치 TV의 학습곡선(평균가격)
Fig. 5 Learning curve of 25 inch TV set (Average value)

3.2 수요관리를 하는 유도전동기의 학습률

여기서는 개별 부하기기(전동기)의 학습률을 추정하고, DSM 정책이 학습률에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 규명한다. 고효율기기 보급을 촉진하기 위하여 고효율기기를 구매할 때 장려금을 지급하는 것과 같은 DSM 정책이 고효율기기의 보급에 영향을 끼칠 것인지에 대해 알아보고 하는 것이다.

부하기기의 가격변화 추이로부터 학습률이 추정될 수 있는데, 이로부터 DSM 정책에 의하여 신기술 개발을 도입한 부하기기의 학습률이 어떠한 영향을 받는지를 규명할 수 있다. 먼저 DSM 정책이 없는 유도전동기의 학습률을 추정하고 다음에 DSM 정책이 적용되는 고효율 유도전동기의 학습률을 추정하여 비교하였다. DSM 정책의 영향이 없다면 두 곡선은 일치하거나 작은 차이만이 있을 것이고, 그렇지 않다면 두 곡선은 일치하지 않을 것이다.

유도전동기의 가격 자료는 산업정보망[14] 및 에너지관리공단[15]의 것을 이용하였다. 1990년부터 1999년까지 유도전동기의 가격자료를 이용하여 학습률을 구하려고 시도하였다. 고효율 유도전동기는 분석기간의 중반인 1994년부터 판매되기 시작하고, 이에 따라 이를 보급하기 위한 DSM 프로그램도 이때부터 시작된다. 사례연구에 이용된 유도전동기의 가격자료는 전체 판매대수와 전체 판매금액만이 있는 것이다. 그러므로 단위용량당 판매금액과 같이 정규화된 자료를 도출할 수는 없는 성질의 것이다. 만약 각 용량별 판매대수 및 판매금액 자료가 입수된다면 그 자료를 정규화시킨 후 단위용량당의 학습곡선을 구하고, 단위용량당의 학습률을 구해 볼 수 있을 것이다.

본 연구에서는, DSM 정책에 의한 학습률 변화의 영향을 함축화시켰다. 현재 확보된 가격 및 보급대수(또는 생산대수)에는 보급확산을 장려하는 고효율기기 이미 포함되어 있는데, 이를 포함한 학습곡선과 포함하지 않은 학습곡선의 관계로부터, DSM 정책이 어느 정도의 강도로 학습곡선에 영향을 주는지 파악하려고 시도하였다.

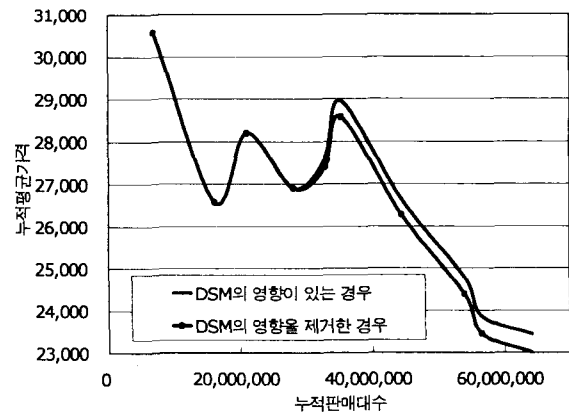


그림 6 DSM 정책 고려 및 비고려 학습곡선 비교
Fig. 6 Comparison of both learning curves which DSM is applied and DSM is not applied

그림 6은 유도전동기의 학습곡선을 구한 것이다. 위쪽 곡선은 고효율유도전동기를 포함한 전체 유도전동기의 학습곡선이고 아래쪽 곡선은 고효율유도전동기를 제외한 유도전동기의 학습곡선이다. 그러므로 위의 곡선에는 수요관리의 영향이 포함되어 있고, 아래의 곡선에는 수요관리의 영향이 제외되어 있다. 두 곡선이 중간에서 둘로 나뉘는 이유는 고효율유도전동기 처음 판매된 것이 1994년이고, 수집된 자료는 1990에서 1999년까지의 10년 동안이기 때문이다.

먼저, DSM 정책의 영향을 제거한 경우의 학습곡선은 다음 그림 7과 같다. 이를 이용하여 학습률곡선을 구했더니 $y = 174755x^{-0.1096}$ 이 구해졌다. 그림의 매끈한 곡선이 바로 이 학습률곡선이다. 이를 이용해서 학습률을 구하면 $2^{-0.1096} = 0.927$ 이 구해진다.

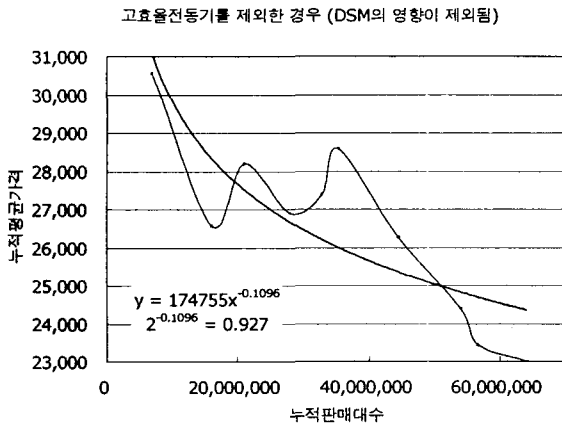


그림 7 DSM 정책의 영향이 없는 경우
 Fig. 7 Learning curve which no DSM is applied

DSM 정책을 포함한 경우의 학습곡선은 다음 그림 8과 같다. 학습률곡선은 $y = 147696x^{-0.0995}$ 이고 학습률은 $2^{-0.0995} = 0.933$ 이다. 아래 그래프의 매끈한 곡선이 바로 학습률곡선의 식을 그린 것이다.

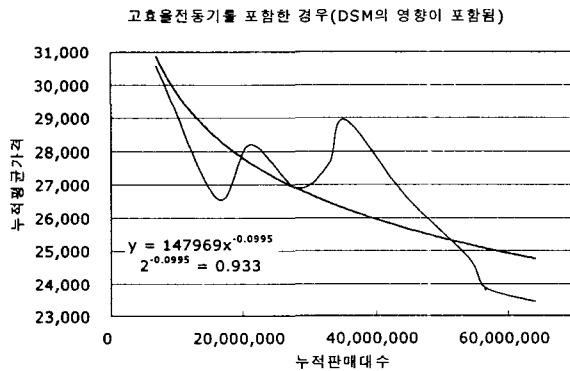


그림 8 DSM 정책의 영향이 포함된 경우
 Fig. 8 Learning curve which DSM is applied

그림 7과 8은 그림 6의 학습곡선으로부터 학습률을 추출해내는 과정을 나타낸다. DSM 정책의 영향이 포함되지 않은 경우와 포함된 경우의 학습률을 찾아보았더니 각각 $0.927(2^{-0.1096})$ 과 $0.933(2^{-0.0995})$ 로 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 이는 생산량이 두 배 되면 기기의 가격이 92.7%와 93.3%로 바뀐다는 것을 뜻한다. 이로서 DSM의 영향이 포함되었을 때와 제거되었을 때의 학습률이 다르다는 것을 알았다. 그리고 DSM이 있는 경우와 그렇지 않은 경우에 생산량 증가에 따른 가격변동이, 적은 값이지만, 있기 때문에 DSM이 학습률에 영향을 끼친다고 조심스럽게 결론을 내릴 수 있다.

4. 결 론

수요관리정책이 있는 경우와 없는 경우의 학습곡선을 비교하여 수요관리의 효과에 대해 알아보았다. 수요관리정책

이 없는 TV와 수요관리정책이 있는 고효율전동기를 조사해보니 두 경우 모두 생산량이 누적됨에 따라 생산단가가 낮아지는 경향이 나타났다. 그런데 TV의 학습곡선은 제법 매끄럽게 나타나지만 유도전동기의 학습곡선은 TV의 경우처럼 매끄럽게 나타나지는 않았다.

전동기의 경우에도 생산량이 누적됨에 따라 생산단가가 낮아지는 경향이 나타났다. 그런데 수요관리정책이 있는 고효율 전동기를 포함한 전체 유도전동기의 학습곡선과 고효율 전동기를 제외한 유도전동기의 학습곡선이 약간 다르게 나타났다. 기기의 수가 적은 처음에는 같은 모양이던 것이 기기의 누적생산대수가 많아진 지점에서 서로 다른 모양으로 갈라지는데, 이는 고효율 전동기가 처음부터 보급된 것이 아니고, 중간쯤부터 보급되었기 때문이다.

고효율전동기를 포함한 경우와 고효율전동기를 제외한 경우의 학습곡선이 약간 달라진다. 수요관리정책이 있는 경우 학습률은 0.933, 수요관리정책이 제외된 경우의 학습률은 0.927로 나타났다.

고효율기기를 구입할 때 보조금을 지급하는 보급지원 정책은 기기의 생산가격에 영향을 주는 것으로 생각된다. 전동기의 경우를 살펴보니 보조금이 있는 경우와 없는 경우의 학습곡선이 다른 모양이고, 학습률도 다른 값으로 나타났다고 조심스럽게 결론 내릴 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] H.L. Willis, "Advanced engineering methods for optimizing and integrating distribution planning with demand-side management and dispersed generation," Rural Electric Power Conference, pp A1/1-A1/9, 1994
- [2] H.L. Smith, "DA/DSM directions. An overview of distribution automation and demand-side management with implications of future trends," IEEE Computer Applications in Power, Vol. 7, pp 23, 1994
- [3] 한국전력공사 전력경제처, "가전기기별 전력소비행태 조사," 1995
- [4] M.E. Whiteman, "Applications of distribution automation and demand side management in AMR systems," Metering and Tariffs for Energy Supply, Conf. Publ. No. 426, pp 1, 1996
- [5] 한국전력공사 전력경제처, "조명기기 보급 실태조사," 1994. 8
- [6] 한국전력공사 전력경제처, "가전기기 보급률 조사연구," 1997. 12
- [7] 한국전력공사 전력경제처, "전자식전력량계에 의한 부하분석," 1999. 6
- [8] 한국전력공사 전원계획처, "계약종별·산업별 부하곡선 자료집," 1997. 10
- [9] 한국전력공사 전원계획처, "계약종별·산업별 부하곡선 자료집 II," 1999. 2
- [10] 한국전력공사 전력경제처, "대형건물 정밀 진단 및 절전잠재량 조사," 1997. 9
- [11] 에너지경제연구원, "에너지 통계연보," 1999

- [12] 박시우, 김기동, 윤용범, 추진부, "한전계통의 부하구성비 분석," 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (C), pp.1478-1480, 1999. 7
- [13] 한국물가정보 website, <http://www.kpi.or.kr>
- [14] 산업정보망 website, <http://www.iin.co.kr>
- [15] 에너지관리공단 website, <http://www.kemco.or.kr>
- [16] J.Y. Lim, J.H. Kim, J.O. Kim, and Chanan Singh, "Application of Expert System to Load Composition Rate Estimation on Algorithm," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, No. 3, pp. 1137-1143, Nov. 1999
- [17] M.H. Han, W.S. Wee, J.H. Kim, and J.B. Choo, "A Study on the Load Composition Rate Estimation Algorithm," ICEE2K Proceeding, pp. 886-889, July 2000
- [18] 한국전력공사 기술연구원, "전력계통 안정도 해석을 위한 적정 부하모델에 대한 연구," 1990. 10
- [19] Ettore Bompard, "The role of load demand elasticity in congestion management and pricing," Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 4, pp 2229, 2000
- [20] Man-Hyung Han, "A Study on the Polynomial Price-Sensitive Load Model Using Load Composition Rates in Competitive Electricity Market," Master of Engineering Theses, Graduate School of Hongik University, December 2000.
- [21] 기초전력공학공동연구소, "전력산업 경쟁도입에 따른 요금변화에 대한 부하모델수립 및 DSM 프로그램에 미치는 영향 평가에 관한 연구," 최종보고서, 2002. 10

저 자 소 개

최 준 영 (崔 峻 榮)



1963년 7월 9일생. 1986년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1988년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1994년 동대학원 졸업(공학박) 1996년~현재 전주대학교 공학부 부교수
 Tel : 063-220-2657
 Fax : 063-220-2750
 E-mail : joon@jj.ac.kr

송 경 빈 (宋 敬 彬)



1963년 9월 15일생. 1986년 연세대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스A&M전기공학과 졸업(공학박). 1995년 LG-EDS 시스템 전문과장. 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 공학부 전임강사. 2002년~현재 숭실대학교 전기제어시스템공학부 전임강사
 Tel : 02-820-0648
 Fax : 02-817-7961
 E-mail : kbsong@ssu.ac.kr