

전력 수요관리 프로그램의 지원금 변화에 따른 참여도 연구

(A Study on the Participation depending on the Rebate changes in the DSM)

박종진* · 김현웅 · 김진오**

(Jong-Jin Park · Hyun-Woong Kim · Jin-O Kim)

요 약

한국은 1970년대 이후 지속적인 경제성장으로 인해 전력수요가 꾸준히 증가해 왔다. 이러한 전력수요를 충족시키기 위해 설비의 확장을 통한 공급측 관리(Supply-Side Management)와 함께 전력사용의 효율성을 향상시킴으로써 안정적인 전력을 공급하는 수요측 관리(Demand-Side Management)를 수행하고 있으며, 전 세계적인 에너지 사용량 증가로 인해 연료비용이 점차 커지면서 수요측 관리의 중요성이 점차 커지고 있다. 수요측 관리는 지원금을 이용하여 전력수요를 조절하고 있으며, 수요관리의 중요성이 커짐에 따라 지원금 규모는 점점 커지고 있다. 하지만 현재 지원금 산정에 대한 구체적인 연구가 진행되고 있지 않은 실정이므로 이에 대한 연구를 통해 더욱 효율적인 지원금 산정을 통한 수요관리 효과를 극대화 할 필요가 있다. 본 논문에서는 2007년도에 지원금변화에 대한 잠재참여자의 선호도를 조사한 “지원금에 대한 수용가 반응도 조사”를 이용하여, 지원금 변화에 따른 수요관리 프로그램의 잠재참여자의 참여도를 수식화 함으로써 지원금 변화에 대한 수요관리 프로그램의 영향도를 분석할 수 있게 하는데 목적을 두고 있다.

Abstract

The electricity demand in Korea has rapidly increased along with a steady economic growth since 1970s. Therefore Korea has positively propelled not only SSM(Supply-Side Management) but also DSM(Demand-Side Management) activities to reduce investment cost of generating units and to save supply costs of electricity through the enhancement of whole national energy utilization efficiency. However study for rebate, which have influence on success or failure on DSM program, is not sufficient. This paper executed to modeling mathematically an amount of potential participants considering rebates, which have influence on penetration amounts for DSM program, using by 'A Survey of End-User for Energy Efficiency Demand Side Management Programs'.

Key Words : DSM, Pricing Function, High Efficiency Appliance, End-User Response

* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사과정
 ** 교신저자 : 한양대학교 전기공학과 교수
 Tel : 02-2220-0347, Fax : 02-2297-1569
 E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

접수일자 : 2008년 6월 20일
 1차심사 : 2008년 7월 3일
 심사완료 : 2008년 8월 5일

1. 서 론

산업의 발전과 국민의 생활수준 향상으로 우리나라의 전력 소비는 경제 성장률보다 더 큰 폭의 소비

증가율을 보이고 있으며, 이러한 전력 수요를 감당하기 위해 수요를 예측하여 설비 확장을 진행하고 있다. 하지만 최근 지구온난화로 인한 전 세계적인 CO₂ 절감노력과 함께 중국, 인도 등의 신흥공업국의 급속한 산업화로 인한 발전연료 단가의 상승은 국가적인 전력이용의 개선욕구를 증대시키고 있다. 향후 에너지절감과 환경편익 등을 고려하여 지속적인 편익이 있는 수요관리 프로그램을 개발하고 사업화하려는 시도를 하고 있으나, 체계적인 평가기준과 운영계획이 마련되어 있지 않은 상황에서 수요관리 사업에 매년 막대한 재원이 투자되고 있는 실정이다. 그러므로 지원금에 대한 수용가의 반응을 연구함으로써 더욱 효율적인 지원금 산정과 예산편성이 이루어져야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 지원금에 대한 수용가의 반응을 수학적으로 모델링 함으로써 전력수급계획에서 지원금예산을 더욱 효율적으로 산정하는데 목적을 둔다.

2. 가격함수

가격함수란 재화의 가격에 대한 수요의 반응정도를 수학적으로 모델링 한 것이다. 일반적으로 재화의 가격하락에 따라 수요는 증가하게 되고 재화의 가격상승에 따라 수요는 감소하게 된다.

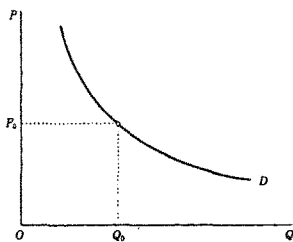


그림 1. 수요곡선
Fig. 1. Demand Curve

이러한 수요에 영향을 주는 요인은 재화의 가격(P), 소비자의 소득(M), 다른 재화의 가격(Pr) 등을 들 수 있는데 이러한 요인들과 계획된 구매량 간의 관계를 함수로 표현한 것을 가격함수라 한다.

$$Q_d = D(P, M, P_r, \dots) \quad (1)$$

2.1 기존의 가격함수

가격함수에 대한 기존의 연구들로 Bass, F. M.는 세월이 변함에 따른 재화의 단가가 하락으로 인한 판매량의 변화를 연구하였으며[1], Bass, F. M.와 Bultez, A. V.는 [1]을 이용하여 가격탄력성 변화에 따른 적정가격을 찾는 전략에 대한 연구를 수행하였다[2]. 이러한 재화의 수요와 가격간의 관계를 규명하여 최적 가격을 찾는 연구가 많이 있었으며 [3]에서 이것을 정리하였다. 국내의 경우 고효율기기의 보급과 지원금과의 상관관계를 규명하기 위해 경제학적인 측면에서 재화의 수요와 가격과의 관계에 대한 연구를 이용하였다[4]. 다음의 식 (2)는 경제학적인 측면에서 재화의 수요와 가격과의 관계를 나타내기 위한 가격함수이다.

$$G(P_i) = \left(\frac{P_i(t)}{P(t)} \right)^\eta \quad (2)$$

여기서, $G(P_i(t))$: t 년도 i 재화의 가격함수
 $P_i(t)$: t 년도 i 재화의 가격
 $P(t)$: t 년도 재화의 평균 가격
 η : 재화의 가격탄력성

식 (2)는 동종 재화에서 i 재화의 가격변동에 따라 수요가 얼마나 변화할 것인지를 나타내는 함수이며, 위 수식을 변형하여 고효율기기의 적정지원금을 산정하기 위한 연구가 있었다[5].

$$G(P_i) = \left(\frac{P_i(t)_{NV}}{P_i(T)_{NV}} \right)^\eta \quad (3)$$

여기서,
 $G(P_i(t))$: t 년도 i 고효율기기의 가격함수
 $P_i(t)_{NV}$: t 년도 i 고효율기기를 구매하기 위하여 지불하는 실제 가격
 $P_i(T)_{NV}$: 고찰기간(T)에서 i 수요관리기기의 평균가격
 η : 가격탄력성

$$P_i(t)_{NV} = P_i(t)_{RV} - P_i(t)_{IN} \quad (4)$$

$$P_i(t)_{IN} = DR_i(t)(P_i(t)_{RV} - P_i(t)_{SV})$$

여기서,

$P_i(t)_{IN}$: t 년도 i 고효율기기의 보조금

$DR_i(t)$: t 년도 i 고효율기기의 보조금 지원비율

$P_i(t)_{RV}$: t 년도 i 고효율기기의 시장가격

$P_i(t)_{SV}$: t 년도 i 표준기기의 시장가격

식 (3)은 i 고효율기기의 지원금 변화에 따라 수요가 얼마나 변화할 것인지를 나타내는 함수이며 식 (4)를 통해 기준기와 고효율기기의 가격에 대한 정의를 내리고 있다. 즉 DR 이 1이면 고효율기기와 표준기기의 가격차 전액을 지원하게 되며, DR 이 0인 경우는 지원이 전혀 이루어지지 않게 된다. 일반적으로 재화의 가격변동은 동종 재화에 비해 극단적인 변동이(예를 들면 0원이나 심한 가격상승) 있을 수 없기 때문에 모든 가격대에 적용되는 가격함수가 사실상 필요가 없다. 그러므로 식 (2)는 $P_i(t) \rightarrow 0$ 혹은 $P_i(t) \gg P(t)$ 인 경우를 고려하지 않는다. 하지만 식 (3)의 경우 수요관리 자원의 지원금에 대한 표현식으로 실제로 지원금이 같은 기간동안 가격차이의 100[%]를 지원하게 되면 $P_i(t)_{NV} \rightarrow 0$ 이 되고 지원금이 0이 되면 $P_i(t) \gg P(t)$ 인 경우를 고려해야 한다. 하지만 표현식으로는 그 범위에 대한 수용가의 반응을 적절하게 나타내기 힘들다. 이것은 지원금에 대한 수용가 반응도 조사를 통해 확인할 수 있다[6].

2.2 수용가 반응도 조사

그림 2는 고효율 인버터에 대한 지원금 수용정도를 조사한 것으로 “지원금이 높아 업체에서 많이 도입할 것 같다”라고 응답한 응답자를 지원금에 따라 누적하여 표현한 것이다. 즉 지원금에 대한 고효율 인버터의 수요곡선이라 할 수 있다. 그림 2에서 2006년 인버터에 지원된 지원금 21만원을 참여의사 증가비 1로 기준을 잡고 식 (2)를 이용하여 가격함수를 구하면 다음과 같은 가격함수로 나타낼 수 있다.

그림 3에서 확인할 수 있듯이 식 (3)은 모든 지원금 범위에서 수용가의 반응도를 정확히 나타내기 못하고 있다. 즉 34만원이상의 지원금범위에서는 수용가의 반응도를 훨씬 넘어서면서 발산하는 형태를 보이고 있다. 지원금은 일반 재화와 달리 모든 범위 내

에서 고려되고 변경될 수 있는 것이기 때문에 모든 범위를 적절히 나타낼 수 있는 가격함수가 필요하다. 또한 수요관리 프로그램에 대한 모델링을 통해 적정 지원금 산출과 최적 예산편성을 위해서도 잠재참여자의 반응을 정확히 나타낼 수 있어야 한다.

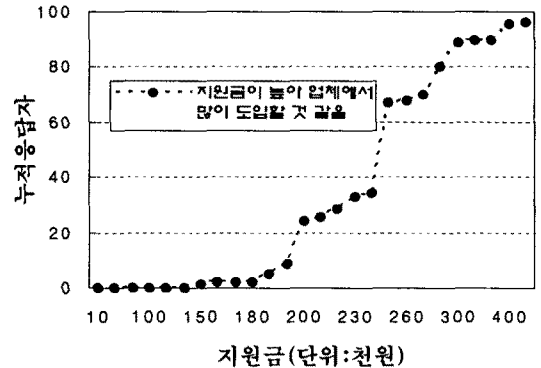


그림 2. 지원금에 대한 고효율인버터 도입 가능응답자
Fig. 2. Respondents affording to purchase high efficiency inverter depending on rebate changes

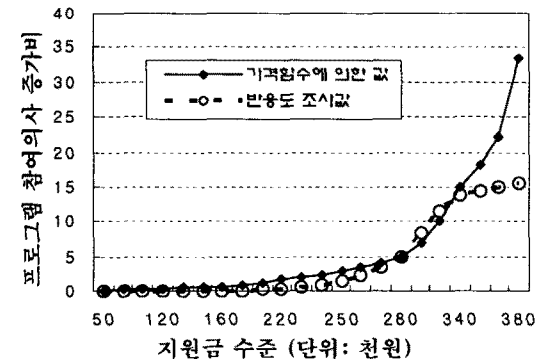


그림 3. 기존가격함수에 의한 수요곡선
Fig. 3. Demand Curve by the Existing pricing function

2.3 수용가 반응도 조사를 이용한 가격함수

식 (3)과 같은 기존의 가격함수를 이용하면 그림 3처럼 지원금 변화에 대한 수용가의 반응형태를 정확하게 나타낼 수 없다. 지원금이 34만원 이후부터는

지원금에 대한 참여의사를 완전히 표현하지 못하고 있다. 그러므로 지원금 변화에 대한 수용가 반응을 정확히 나타내기 위해서 Verhulst 방정식을 이용한 지원금 변화에 대한 수용가 반응을 모델링 해야한다.

Verhulst 방정식은 1838년에 고안된 것으로 인구 증가를 설명하는 모델로써 고안한 식이다[7]. 표현식은 다음과 같다.

$$y = \frac{b_1}{1 + b_2 \exp(-b_3 \times x)} \quad (5)$$

지원금에 대한 수용가의 반응도는 지원금이 낮을 때 0에서 시작해서 급격히 증가하다가 어느 수준을 넘어서면 포화되는 형태를 보이고 있다. 식 (5)를 이용하여 가격함수를 유도하면 가로축을 지원금으로 세로축을 지원금에 대한 수용가의 참여도로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 세로축을 기기를 구매하려는 정도(Willingness to Buy Unit)으로 나타낼 수 있으며, 가로축은 $\Delta P_i(t)$ 로써 지원금 변화로 수식화 할 수 있다.

$$WBU_i(\Delta P_i(t)) = \frac{b_{1i}}{1 + b_{2i} \exp(-b_{3i} \times \Delta P_i(t))} \quad (6)$$

여기서,

$WBU_i(\Delta P_i(t))$: 조사년도 t의 i 기기구매 의사 응답자(WBU: Willingness to Buy Unit)

b_{1i}, b_{2i}, b_{3i} : 회귀 추정계수

$\Delta P_i(t)$: 조사년도 t에서 i기기에 대한 구매 반응 지원금 차이

식 (6)에서 조사년도 t에서 i기기에 대한 구매 반응 지원금 차이 $\Delta P_i(t)$ 가 0이라면, 조사년도 지원금액과 같은 금액에 대한 잠재참여자의 프로그램 참여 반응도를 알 수 있으며 다른 조사대상 지원금에 대한 반응도와 비율을 나타내면, 지원금 변화에 따른 잠재참여자의 반응률을 구할 수 있다. 이 과정은 다음과 같다.

$$\Delta P_i(t) = 0 \text{ 일 때 } WBU_i(0) = \frac{b_{1i}}{1 + b_{2i}}$$

$$G(\Delta P_i(t)) = \frac{WBU_i(\Delta P_i(t))}{WBU_i(0)} \quad (7)$$

$$= \frac{1 + b_{2i}}{1 + b_{2i} \exp(-b_{3i} \times \Delta P_i(t))}$$

식 (5)를 이용하여 식 (6)을 유도할 수 있으며, 식 (6)을 이용하여 식 (7)을 본 논문에서는 가격함수로 제안한다. 식 (7)을 이용하여 지원금 변화에 대한 가격함수를 구하면 다음과 같은 지원금 변화에 대한 참여의사자 증가비를 구할 수 있다.

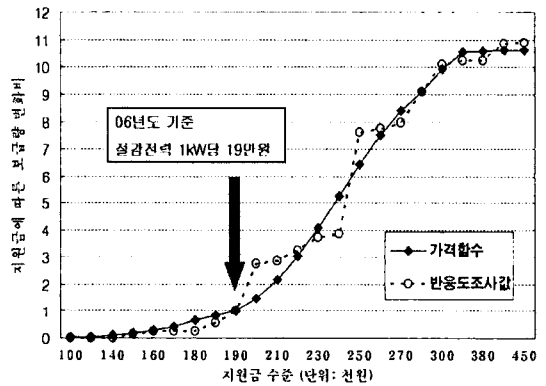


그림 4. 고효율인버터 지원금 대비 참여의사 비율
Fig. 4. participation rates depending on the rebate changes for high efficiency inverter

그림 4에서 확인할 수 있듯이 2006년을 기준으로 절감전력 1[kW]당 지원금 19만원을 참여의사 증가비를 1로 설정하였으며, 지원금 변화에 대한 참여의사 증가비를 구할 수 있었다. 조사값을 이용하여 식 (7)을 회귀추정하면 가격함수를 구할 수 있다.

3. 고효율기기의 가격함수 추정

본 논문에서 추정한 가격함수는 “고효율기기 프로그램에 대한 수용가 반응도 조사”를 이용하기 때문에 이 조사를 통해 고효율기기 프로그램에 대한 가격함수를 추정한다. 다음은 추정에 사용되는 데이터로써 식 (7)을 이용한 회귀추정을 통해 각 계수를 구하여 가격함수를 결정한다. 다음은 회귀추정에 사용되는 데이터이다.

표 1. 고효율인버터 잠재참여자 지원금 수용정도
Table 1. Response rate depending on rebate for potential participants of high efficiency inverter

지원금수준 (단위: 천원)	$\overline{\Delta P_i}$ (단위: 천원)	참여의사 증가비
140	-50	0.00
150	-40	0.13
160	-30	0.23
170	-20	0.23
180	-10	0.25
185	-5	0.57
190	0	1.00
200	10	2.75
210	20	2.88
220	30	3.25
230	40	3.75
240	50	3.88
250	60	7.61

위 데이터와 식 (7)을 이용하면 고효율인버터의 가격함수를 구할 수 있으며 비슷한 방식으로 고효율기기별 가격함수의 계수를 추정할 수 있다. 그 값은 표 2와 같다.

표 2. 고효율기기 별 가격함수 계수
Table 2. Pricing function coefficient for each high efficiency appliance

기기 종류	\hat{b}_2	\hat{b}_3	R^2
전구형형광등	0.1967	2.2398	0.9786
32W2등용안정기	0.1967	1.1199	0.9786
32W1등용안정기	0.1967	1.6798	0.9786
고효율 인버터	9.6091	0.0449	0.9838
고효율 자판기	0.0277	0.0221	0.9910
고효율 전동기	14.7670	0.0465	0.9755

3.1 가격함수 분석

다음은 기기별 가격함수에 따라 특성을 확인할 수 있다. 경제학적으로 가격변화에 따른 소비자의 가격민감도 즉 가격탄력성에 따라 결정된다. 마찬가지로

지원금에 따른 수용가의 지원금 민감도는 가격함수에 의해 결정된다. 본 장에서는 크게 전동기와 고효율 조명기기의 가격함수를 분석하였다.

3.1.1 고효율 전동기 가격함수 분석

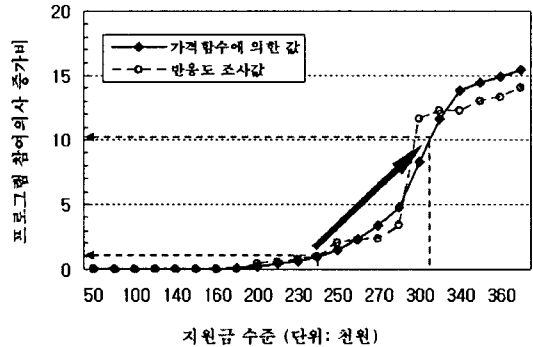


그림 5. 고효율 전동기 지원금에 따른 가격함수
Fig. 5. A pricing function depending on rebate for high efficiency motor

고효율 전동기의 경우 기기도입 시기가 2002년으로 도입된지 얼마되지 않았고, 유도성부하이기 때문에 지원금 상승에 파급효과가 크고 전동기의 효율향상 효과가 크다. 하지만 기기가격이 높고 설비변경을 감수해야 하는 어려움이 있기 때문에 지원금 상승에 따른 수용가의 민감도가 매우 큰 것으로 나타났다. 그러므로 지원금액의 상향조정을 검토할 필요가 있는 것으로 나타났다. 2006년도 기준으로 절감 전력 1[kW]당 24만원의 지원금을 지급하고 있으며, 2007년도 5월을 기준으로 지원금을 6만원 이상 증가시키면 현재 보급량 대비 10배 이상 보급량이 증가될 것으로 예상된다.

3.1.2 고효율 조명기기 가격함수 분석

조명기기의 경우 1993년 6월부터 고효율기기 보급 프로그램이 진행되어 현재까지 실시되고 있는 프로그램으로써 확산잠재량의 70[%]이상 보급된 것으로 추정되고 있다. 또한 지원금에 대한 의존도가 낮은 것으로 조사되고 있다. 이것은 가격함수를 통해 분석할 수 있다. 즉 지원금 상향조정에 수용가의 구매 반응정도가 매우 낮다는 것을 알 수 있다. 그림 6을

통해 알 수 있듯이 대당지원금 50[%] 상향조정에 약 20[%]정도의 보급량 증가가 일어날 것으로 예상된다. 그러므로 지원금 상향조정보다는 지원금 효과가 충분히 나타날 때까지 보급이 됐다면 하향조정을 고려할 필요가 있다는 것을 알 수 있다.

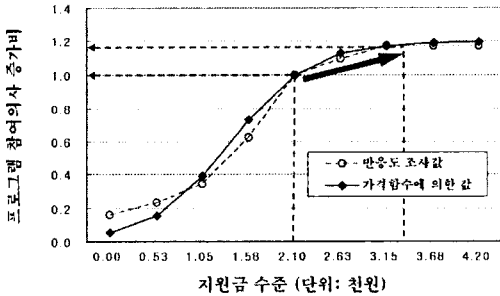


그림 6. 고효율 조명기기 지원금에 따른 가격함수
Fig. 6. A pricing function depending on rebate for high efficiency lighting

4. 결 론

본 논문에서 추정한 가격함수는 수요관리 프로그램의 지원금 수준에 대한 수용가의 반응도를 수학적 으로 모델링했으며 실제 수용가 반응도 조사를 이용하여 지원금 수준에 대한 가격함수를 정확하게 추정 하는 것에 목적을 두고 있다. 본 논문에서 유도한 가격함수를 통해 각 수요관리 프로그램 별로 지원금 변화에 따른 수용가의 참여도를 예측할 수 있으며, 이를 이용하여 향후 전력수급계획에서 지원금 변화에 대한 효과를 추정해 볼 수 있다. 또한 각 프로그램에 대한 수학적 모델링을 통해 모든 프로그램을 아우를 수 있는 통합적인 최적화 도구로써도 사용 가능하다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-2-040) 주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] Bass, F. M., "The Relationship Between Diffusion Rates, Experience Curves, and Demand Elasticities for Consumer Durable Technological Innovations", *Journal of Business* 53(3,2), S51-S78 (1980).
- [2] Bass, F. M., and Bultez, A. V., A Note on Optimal Strategic Pricing of Technological Innovations, *Marketing Science* 1(4), 371-378 (1982).
- [3] Jeuland, A. P., and Dolan, R. J., An Aspect of New Product Planning: Dynamic Pricing, in *Marketing Planning Models*, A. A. Zoltners, (ed), (TIMS Studies in the Management Sciences 18.) Amsterdam: North-Holland Publishing Company, pp. 1-21, (1982).
- [4] Mark William Speece and Douglas L. MacLachlan : "Forecasting Fluid Milk Package Type", *IEEE Transaction on Engineering Management*, vol. 39, no. 2, pp. 169-175.
- [5] 김희철, 이정규, 신중린, 박종배 "전력수요관리 보조금 지원조건을 고려한 고효율기기의 확산모형 연구," *전기학회논문지*, vol. 51A, pp. 630-636, 2002.
- [6] 한국전기연구원, 고효율기기 프로그램에 대한 수용가 반응조사, 2007.5.
- [7] Verhulst, P. F., "Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement", *Correspondance mathématique et physique* 10:113-121, (1838).

◆ 저자소개 ◆

박종진 (朴鍾鎭)

1966년 4월 30일생. 1991년 한양대학교 전기공학과 졸업 (석사). 현재 동 대학원 전기공학과 공학박사과정.
Tel : (02)2220-0347
E-mail : jjpark@keri.re.kr

김현웅 (金賢雄)

1980년 12월 23일생. 2007년 한양대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 현재 한양대 전기공학과 석사과정.
Tel : (02)2220-0347
E-mail : socoolsk@hanyang.ac.kr

김진오 (金鎭吾)

1956년 1월 17일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 Texas A&M University 전기공학과 졸업(박사). 1987년~현재 한양대 전기공학과 정교수.
Tel : (02)2220-0347
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr