

효율향상 프로그램의 최적 수요관리목표량 산정

소철호*, 박종진*, 김진오*, 조중삼**
*한양대학교, **(주)이피아테크

Estimation of Optimal Target Amount for Efficiency Improvement Program of DSM

Choi-Ho So*, Jong-jin Park*, Jin-O Kim*, Joong-Sam Cho**
*Hanyang University, **e-pia Tech

Abstract - In this paper, the proper rebate level can be decided in programs of energy savings by solving an optimization problem with an objective function, which satisfies a maximum value of total energy savings. And then, each prevalence amount is estimated by using virtual Bass model which is a function of rebate level, instead of the conventional Bass model. Finally, by cost/benefit analysis of the estimated prevalence amounts, the priority order is obtained for the investment of each program. The priority order obtained in this way may result the improvement of investment efficiency for DSM(Demand-Side Management) programs and the reasonable plan decision for supply and demand in power system.

$f(t)$: 시간 t 에서의 채택확률
 $F(t)$: 시간 t 에서의 누적채택확률

$$f(t) = n(t)/m, \quad F(t) = N(t)/m \quad (3)$$

$$n(t) = m \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} \quad (4)$$

여기에서, $n(t)$ 을 시간 t 에서의 수요량, $N(t)$ 을 그 때까지의 누적 수요량, m 을 잠재수요량이라 두면 식 (3)과 같이 표현된다. 또한, 식 (2)와 식 (3)의 관계로 부터 얻은 미분방정식을 정리하면 식 (4)를 얻을 수 있다. 따라서 Bass model의 확산 함수의 값은 세 가지 확산계수 p , q , m 의 값에 따라서 결정된다.

1. 서 론

우리나라의 수요관리 프로그램은 1970년대 요금제도에 의한 부하관리로 부터 시작하여 1990년대부터는 고효율 조명기기, 그리고 2000년대 들어서 고효율 전동기 및 고효율 인버터와 같은 에너지절약기술에 의한 수요관리 프로그램을 도입하여 그 비중이 높아지고 있는 실정이다. 지금까지 수요관리 목표량 추정은 과거 실적을 토대로 확산함수를 단순히 적용시키는 수준이거나 또는 전년도 실적을 근거로 추정하는 수준으로 전력수급기본계획의 수요관리 목표량 예측값의 신뢰성에 의문이 제기되고 있다.

본 연구에서는 적정 지원금 결정을 위한 절감량을 최대로 하는 목적 함수를 제안하고 그 결과를 지원금을 고려한 확산 모형에 적용하여 각 고효율기기의 보급량을 추정하였다. 또한 추정한 보급량의 결과를 편익/비용 분석에 이용하여 당해의 투자 우선순위를 선정하였다.

2. 지원금 수준과 보급량

지원금은 수요관리프로그램의 보급을 확대하기 위하여 시행하며, 지원금 수준변화에 따라 수요관리 보급량이 변화되므로 각 프로그램별로 어느 정도의 지원금을 지불하는가는 매우 중요한 요인이다. 지원금이 어느 적절한 지원금 수준 보다 높거나 낮출 경우에는 보급량이 줄어들게 된다. 본 논문에서는 지원금 수준에 따른 보급량의 변화를 다음의 2차식으로 가정하였다.

$$\text{연간보급대수}_k = a \times (\text{지원금수준}_k)^2 + b \times (\text{지원금수준}_k) + c \quad (1)$$

여기서, k = 각 고효율기기 프로그램

3. 확산 모형 비교

확산모형이란, 사회체제의 사람들에 의해 새로운 것으로 받아들여지는 생각, 객체 등이 시간의 흐름에 따라 어떤 경로를 통해 사회체제에 속한 사람들 사이에 소통되는 것을 함수의 형태로 표현한 것으로 정의된다. 이러한 함수 형태로의 표현에는 Logistic, Gompertz, Bass model 등이 있으며, 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 Bass model과 Bass 모형의 확장 개념인 VBM(Virtual Bass Model)을 이용하였다.

3.1 Bass diffusion model

Bass model을 이용하기 위해서는 잠재시장보급량(m), 혁신계수(p), 모방계수(q)를 추정해야 하며 이것은 hazard 함수로부터 식 (2)와 같이 표현된다[1].

$$\frac{f(t)}{(1-F(t))} = p + qF(t) \quad (2)$$

여기서,

3.2 Virtual Bass diffusion model

VBM은 프로그램 도입 시점과 실적 데이터의 누적 시점이 데이터의 소실 등으로 인하여 차이가 발생하게 될 때 그 차이를 확산 정도에 고려하는 모형이다. 아래 식 (5)는 변수들 사이의 관계를 표현하고 있고, τ 는 데이터의 누적 시점과 프로그램 도입 시점의 차를 나타낸다. 만약 $\tau = 0$ 이면, 계수의 추정값은 앞의 Bass model에서 추정된 값과 같게 된다[2].

$$M = (1 + p/q)m$$

$$U = p + q$$

$$z = [1 + (p + q)] \ln(p/q) \quad (5)$$

$$z' = z + \tau, \quad q' = U / (1 + e^{z'/U}), \quad p' = U - q', \quad m' = M / (1 + p'/q')$$

표 1은 고효율기기 프로그램의 도입 시점과 보급 실적 데이터의 누적 시점을 나타내고 있다.

<표 1> 프로그램 도입 및 데이터 누적 시점 (year)[3]

Sort of high-efficiency appliances	Introduction year of programs	Initial year of real data	τ
Compact lighting	1993	1995	-2
Electronic ballasts32W_2	1993	1995	-2
Electronic ballasts 32W_1	1993	1995	-2
Inverter 50Hz	2000	2001	-1
Inverter 55Hz	2000	2001	-1
Vending machine	1999	2000	-1
Large motor	2002	2002	0
Small motor	2002	2002	0

3.3 모형 적합성 비교

Bass model과 VBM을 이용하여 추정된 순증 보급량과 실적 데이터가 존재하는 부분을 RMSPE(Root Mean Square Percentage Error)[4]를 적용하여 각 모형의 오차를 비교하였다.

또한, 각 모형과 실적 데이터의 누적보급량에 대한 오차 비교는 Theil의 부등관 계수(Inequality coefficient)[4]를 이용하였고, 여기서 Theil의

부담금 계수가 $U=0.55$ 이하이면 예측이 정확한 것으로 판정한다.

$$RMSE = 100 \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left[\frac{(\bar{y}_t - y_t)}{y_t} \right]^2} \quad (6)$$

$$U = \frac{\sqrt{MSE}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y_t^2} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \bar{y}_t^2}} \quad (7)$$

여기서,

\bar{y}_t : 추정치

y_t : 실적 데이터

N : 비교 기간(년)

MSE (Mean Squared Error)

$$= \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\bar{y}_t - y_t)^2$$

3.4 목적 함수 설정

본 논문에서는 적정 지원금 수준을 결정하기 위해 절감량을 최대로 하는 목적함수를 설정하였다. 당해년도의 전체 지원금은 정해져 있고, 결정되는 각 고효율기기의 지원금 수준은 직전 해의 수준을 기준(100%)으로 이 기준의 50%보다 크거나 작은 변화가 없는 것으로 가정하였다.

$$\max \text{총에너지절감} = \sum_{k=1}^n (\text{에너지절감}_k) \quad (8)$$

$$s.t \text{ 연간총지원금} = \sum_{k=1}^n \text{연간지원금}_k$$

$$\text{최소 지원금수준}_k < \text{지원금수준}_k < \text{최대 지원금수준}_k$$

여기서,

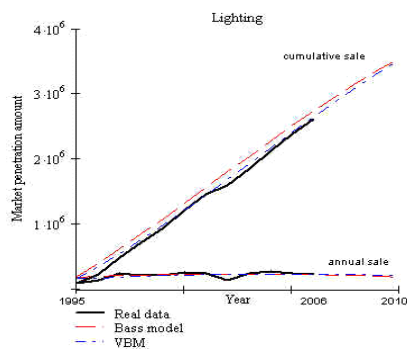
k : 각 고효율기기 프로그램

$$\text{피크수요절감}_k = \text{연간보급대수}_k \times \text{단위대당피크절감량}_k$$

$$= [a \times (\text{지원금수준}_k)^2 + b \times (\text{지원금수준}_k) + c] \times \text{단위대당피크절감량}_k$$

4. 사례 연구

각 고효율기기의 과거 실적 데이터를 Bass model과 VBM에 적용하여 고효율기기의 보급량을 추정하였다. 그림 1은 고효율 형광등의 보급량을 나타내고 있으며, 표 2는 3.3절에서 언급한 두 가지 모형의 적합성 기준 통계량에 의한 결과를 나타내고 있다.



<그림 1> 확산모형에 의한 보급량 추정(형광등)

<표 2> 적합성 기준 통계량의 계산 결과

Diffusion model	RMSPE	U
Bass model	38.543	0.045
VBM	31.88	0.02

앞 식 (8)로부터 최대 절감량을 만족하는 적정지원금 수준이 결정되고 이 결과를 지원금을 고려한 VBM에 적용하여 목표년도에 대한 각 기기의 보급량을 추정하였다[3,5]. 표 3은 목표년도의 지원금 수준과 이에 대한 기기의 보급 추정량을 나타내고 있다.

<표 3> 지원금 수준 결정과 보급량 추정

Sort of high-efficiency appliances	2007 year	
	Rebate level (천원)	Penetration amount (unit)
Compact lighting	1.1	2.20*10 ⁹
Electronic ballasts32W_2	5.9	9.17*10 ⁵
Electronic ballasts32W_1	4.2	1.80*10 ⁶
Inverter 50Hz	2330.7	1.31*10 ⁴
Inverter 55Hz	1260	2.03*10 ²
Vending machine	200	7.59*10 ²
Large motor	241.3	2.36*10 ³
Small motor	32.76	2.45*10 ³

또한 기기의 추정된 보급량과 회피비용의 데이터를 편익/비용 분석[6]에 적용하여 아래 표 4의 결과를 도출하였다.

<표 4> 우선순위 선정

Sort of high-efficiency appliances	Benefit / Cost	Results	
		Conventional order	Proposed order
Compact lighting	2.39		5
Electronic ballasts32W_2	3.17	2	3
Electronic ballasts32W_1	2.40		4
Inverter 50Hz	5.55	1	1
Inverter 55Hz	3.59		2
Vending machine	0.40	4	8
Large motor	1.27	3	6
Small motor	0.44		7

5. 결 론

본 논문에서는 지원금 수준과 보급량의 관계를 최대 절감량을 위한 목적함수에 적용하여 적정 지원금 수준의 결정 방법을 제안하였다. 또한 결정된 지원금 수준을 지원금을 고려한 VBM에 적용하여 각 고효율기기의 보급량을 추정, 편익/비용 분석을 통하여 투자 우선순위를 제시하였다. 현행 효율향상 프로그램의 고효율기기 목표량 산정은 단순 확산모형을 근간으로 추정하는 수준이며, 향후 관련데이터의 체계적인 개발과 검증, 축적을 통한 연구 진행으로 수요관리 프로그램의 우선순위 설정하여 이를 바탕으로 투자효율성 제고를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Bass, F.M., "A New Product Growth Model for Consumer Durables," *Management Science*, vol. 15, pp. 215-227, 1969
- [2] Zhengrui Jiang, Frank M. Bass, Portia Isaacson Bass, "Virtual Bass Model and the Left-Hand Data-Truncation Bias in Diffusion of Innovation Studies," *Inter. J. of Research in Marketing*, vol. 23, pp. 93-106, 2006
- [3] 김희철, 이정규, 신중린, 박종배 "전력수요관리 보조금 지원조건을 고려한 고효율기기의 확산모형 연구," *전기학회논문지*, vol. 51A, pp. 630-636, 2002
- [4] Lindberg, B. C., "International Comparison of Growth in Demand for a New Durable Product," *Journal of Marketing Research*, vol 19, pp. 364-371, 1982
- [5] Mark W, Speece, Douglas L, Maclachlan, "Application of a Multi-Generation Diffusion Model to Milk Container Technology," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 49, pp. 281-295, 1995
- [6] Clark W. Gellings, John H. Chamberlin, *Demand-Side Management :Concepts & Methods*, The Fairment Press, 1993