

고효율기기 보급 프로그램의 최적 목표량 산정에 대한 연구

소철호*, 박종진*, 김진오*

*한양대학교 전기공학과

A Study on Optimal Potential Estimation of High Efficiency Programs

Chol-Ho So*, Jong-Jin Park*, Jin-O Kim*

*Dept. of EE, Hanyang University

Abstract - 구조개편 이후로 수요관리 프로그램에 매년 막대한 재원이 투자되고 있으나, 수요관리 프로그램별 포트폴리오 구성에 대한 연구가 이루어져 오지 않았다. 지금까지의 수요관리 목표량은 과거 보급실적이나 전년도 실적을 근거로 단순히 추정하는 수준이며, 수요관리 프로그램 유형별, 세부프로그램별 보급 우선순위가 체계적으로 정해져 있지 않다. 본 논문에서는 효율개선 프로그램의 고효율기기에 대한 수요관리 목표량을 운영상의 경제적인 이득을 얻을 수 있는 관점에서 해석하여 수요관리 목표량을 선정한다.

1. 서 론

지속적으로 증가하는 부하를 충당하기 위해 발전용량을 증가시키는 노력만으로는 더 이상 전력수급의 평형을 이루기 어려운 상황에 이르렀으며, 이를 해결하고자 우리나라는 1970년대 부터 수요관리(Demand-Side Management : DSM) 프로그램을 도입하였다. 현재 우리나라에서 시행되고 있는 수요관리 프로그램은 크게 부하관리와 효율향상 프로그램으로 구분되어지며, 이 두 가지 프로그램의 수요관리 목표량 산정은 여러 확산모형 중 대체적으로 많이 쓰이는 Bass 모형을 근간으로 하고 있다. 본 논문은 효율향상 프로그램의 고효율 기기의 누적과 순증 보급량 정도를 Bass 모형을 이용하여 예측하고 각 기기의 수요관리 목표량의 산정을 운영상 경제적 최대 이득을 얻을 수 있는 관점에서 살펴본다.

2. 확산 모형

미래 시점의 각 고효율기기의 보급량을 추정하기 위하여 본 논문은 확산모형을 이용한다.

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 모형 등이 있으며, 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 Bass 모형을 사용한다.

이 모형을 이용하기 위해서는 잠재시장보급량(m), 혁신계수(p), 모방계수(q)를 추정해야 하며 이것은 hazard 함수로부터 식(1)과 같이 표현된다[1].

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

여기서, p : 혁신계수(Coefficient of Innovation)

q : 모방계수(Coefficient of Imitation)

$f(t)$: 시간 t 에서의 채택확률

$F(t)$: 시간 t 에서의 누적채택확률

식 (1)에서 $n(t)$ 을 시간 t 에서의 수요량, $N(t)$ 을 그때까지의 누적 수요량, m 을 잠재수요량이라 두면, $f(t) = n(t)/m$, $F(t) = N(t)/m$ 와 같이 표현되고 이것을 식 (1)에 대입하여 정리하면 아래 식 (2)와 같다. 식 (2)의 미분 방정식을 풀면 식 (3)과 식 (4)으로 표현된다[2].

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m} N(t)[m - N(t)] \tag{2}$$

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

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

따라서 Bass모형의 확산 함수의 값은 세 가지 확산계수 p , q , m 의 값에 따라서 결정된다.

3. 경제적 최대 이득을 위한 운영

각 기기의 수요관리 목표량을 결정하기 위해, 다음과 같은 최적화 모델을 구성하였다. 이 모델은 총 편익량을 고려한 것이 아닌, 해당년도의 일정 기간 마다 이득을 산정하여 최대화하였다. 또한 해당 년도의 최대 수요관리 목표량은 당해 년도 가능 수요 관리량($\sum_{i=1}^8 S_i \times K_i(t)$)

으로 가정한다. 다시 말해, 모든 기기 i 마다 1대가 절감할 수 있는 용량(S_i)과 보급된 기기의 총 수량($K_i(t)$)을 곱하여 모두 합함으로서 계산된다[3].

$$\max \sum_{i=1}^8 (B_i \times K_i(t) \times P_i - C_i \times k_i(t)) \tag{5}$$

$$s.t. \quad 0 < P_i, \quad \sum_{i=1}^8 P_i = 1$$

$$S_i \times K_i(t) \geq (\sum_{i=1}^8 S_i \times K_i(t)) \times P_i$$

여기서, i : 각 고효율기기

B_i : 운영상의 이득[원/대]

C_i : 구입 및 설치비용 [원/대]

$k_i(t)$: 예측년도의 기기 순증보급량

$K_i(t)$: 예측년도의 기기 누적보급량

P_i : 결정목표량

S_i : 절전량 [kW/대]

따라서 식 (5)는 일 년간 고효율기기(i 기기) 1대를 운영할 때 얻는 이득(B_i)과 그간 보급된 기기의 수량, 즉 현재 운영 가능한 기기의 수량($K_i(t)$)을 곱함으로써 각 기기를 운전하여 얻는 이득($B_i \times K_i(t)$)을 구하였다. 또한 1대를 설치하는데 소비하는 비용(C_i)과 해당년도의 기기 증가분($k_i(t)$)의 곱으로 그 해의 기기 구입 및 설치 비용($C_i \times k_i(t)$)을 표현하였다.

식 (5)의 계산 결과를 통해, 수요 관리량에 대한 각 기기의 최적 할당 비중(P_i)을 결정한다.

4. 사례 연구

4.1 고효율 기기

본 절에서는 사례연구를 위한 고효율기기의 보급량을 Bass 모델에 이용하여 추정한다. 현재 효율개선 프로그램의 고효율기기는 크게 조명기기, 인버터, 자동판매기, 전동기 등으로 구성되어 있으며 조명기기에는 전구형 형광등, 32W 2등용 전자식안정기, 32W 1등용 전자식안정기 등이 포함된다. 인버터는 최대주파수가 55Hz, 50Hz인 두 가지 인버터로 구성되어 있으며 전동기는 중대형 전동기(10kW이상), 소형 전동기(10kW미만)가 포함된다.

4.1.1 조명기기

11년(1995년부터 2005년)기간의 실적 데이터를 이용하여 전구형 형광등과 32W 2등용, 1등용 전자식 안정기에 대하여 각 계수를 Bass 확산모형을 이용하여 표 1과 같이 결정하였다.

표 1 계수 추정결과

구 분	혁신계수(p)	모방계수(q)	잠재량(m)
전구형 형광등	0.0326	0.0863	5.7669×10^6
32W 2등용 전자식안정기	0.0363	0.3685	1.0656×10^7
32W 1등용 안정기	0.0248	0.4161	1.7396×10^7

또한 누적과 순증 보급량은 전구형 형광등의 경우를 그림 1에 나타내었다.

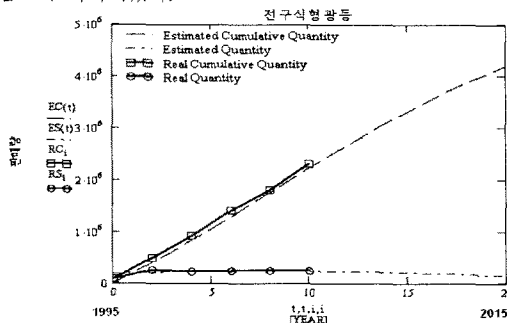


그림 1 전구식 형광등의 실제판매량과 실제누적판매량에 대한 추정치

4.1.2 인버터

11년(1995년부터 2005년)기간의 실적 데이터를 이용하여 50Hz와 55Hz 인버터의 각 계수를 식 (1)을 이용하여 결정하였고, 누적과 순증보급량을 그림 2와 3에 나타내었다.

표 2 계수 추정결과

구 분	혁신계수(p)	모방계수(q)	잠재량(m)
55Hz	0.0038	0.6740	4.2976×10^7
50Hz	0.0049	0.4008	2.3975×10^7

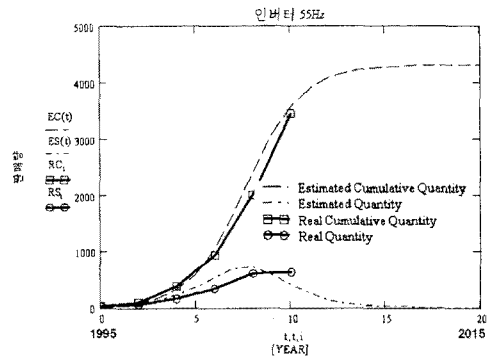


그림 2 55Hz 인버터의 실제판매량과 실제누적판매량에 대한 추정치

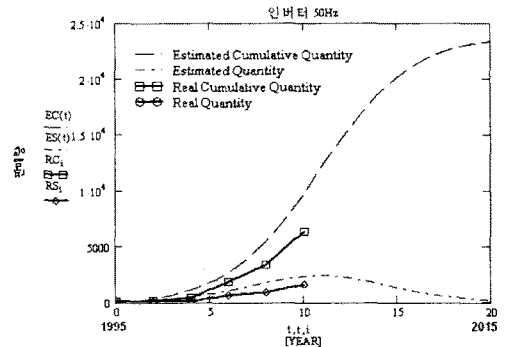


그림 3 50Hz 인버터의 실제판매량과 실제누적판매량에 대한 추정치

4.1.3 자동판매기

6년(2000년부터 2005년)기간의 실적 데이터를 이용하여 자동판매기의 각 계수를 결정하였고, 누적과 순증 보급량을 그림 4에 나타내었다.

표 3 계수 추정결과

구 분	혁신계수(p)	모방계수(q)	잠재량(m)
자동판매기	0.0971	0.2067	6.3141×10^6

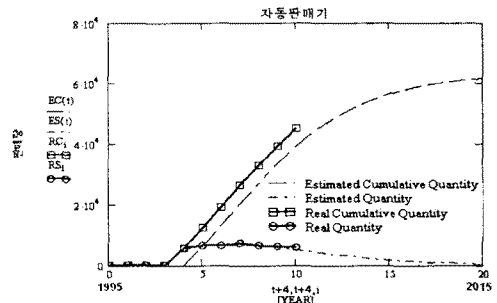


그림 4 자동판매기의 실제판매량과 실제누적판매량에 대한 추정치

4.1.4 전동기

6년(2000년부터 2005년)기간의 실적 데이터를 이용하여 중대형, 소형전동기의 각 계수를 결정하였고, 누적과 순증 보급량을 그림 5와 6에 나타내었다.

표 4 계수 추정결과

구분	혁신계수(p)	모방계수(q)	잠재량(m)
중대형	0.00596	0.23248	520588
소형	0.0429	0.26886	2521535

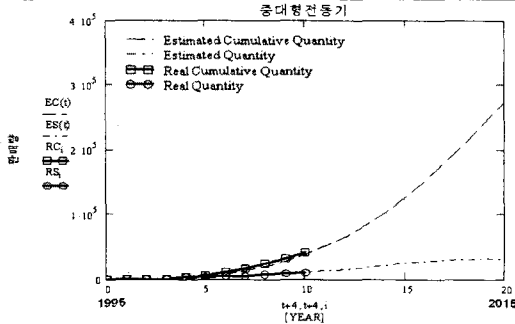


그림 5 중대형 전동기의 실제판매량과 실제누적판매량에 대한 추정치

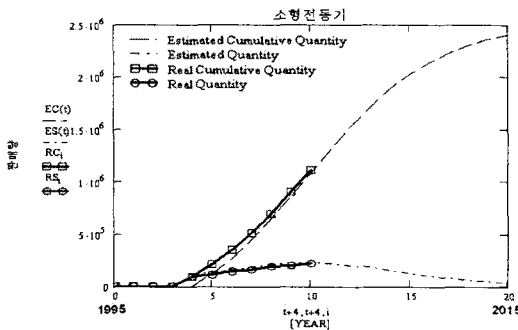


그림 6 소형 전동기의 실제판매량과 실제누적판매량에 대한 추정치

4.2 각 기기의 수요관리 목표량의 산정

본 절에서는 총 수요관리 목표량에 대한 각 고효율기기의 할당량을 식 (5)를 이용하여 추정하였다. 추정한 결과는 표 5와 같다.

표 5 수요관리 목표량 우선순위

구분	수요관리 목표량 [MW]	전구형 형평률 [%]	32W		50Hz		자동 판매기 [%]	중대형 전동기 [%]	소형 전동기 [%]
			2등용 전자식 안정기 [%]	1등용 전자식 안정기 [%]	인버터 [%]	인버터 [%]			
2006	623.1	2.6	55.1	7.6	13.8	2.4	2.4	4.9	11.3
2007	684.0	2.4	52.3	7.9	15.1	2.3	2.4	5.6	12.0
2008	738.7	2.1	49.8	8.2	16.1	2.1	2.3	6.6	12.5
2009	785.5	1.9	47.2	8.5	16.6	2.1	2.3	7.3	12.8
2010	830.9	1.7	45.8	8.7	17.3	2.0	2.3	9.0	13.2
2011	869.9	1.5	43.8	8.9	17.3	1.9	2.2	10.2	13.2
2012	905.5	1.4	42.5	9.2	17.4	1.8	2.2	11.8	13.3
2013	938.2	1.3	41.5	9.4	17.3	1.7	2.2	13.4	13.3
2014	968.4	1.2	40.3	9.6	17.0	1.7	2.1	14.8	13.2
2015	996.9	1.1	39.3	9.8	16.8	1.7	2.1	16.3	13.0
우선 순위		8	1	5	2	7	6	3	4

본 사례연구는 특정 미래시간의 총 수요관리 목표량을 확산모형을 이용하여 계산된 $K_i(t)$ 로 가정하였으므로 매년 모든 기기의 보급량은 일정량 증가된다. 따라서 결과를 분석해 보면, 연도별 각 기기의 우선순위는 큰 변화가 없으며, 이를 연도별로 분석하는 것은 무의미하다. 따라서 이 결과는 정책적으로 모든 기기의 보급량을 일정량 증가하도록 하였을 때, 연도별 총 수요관리의 목표량

의 증가분과 각 기기 수요량 추이를 확인하는데 사용할 수 있다.

또한 동일한 연도의 결과로 각 고효율 기기의 보급량, 보급 비용, 절전량 그리고 운영상 이득 등의 특성에 따라 각 고효율기기의 상이한 할당량의 결과를 확인할 수 있었다. 이는 각 고효율기기의 우선순위를 결정하여 보급하는데 유용한 지표가 될 것으로 사료된다.

5. 결 론

고효율기기의 과거 보급량 데이터를 Bass모형에 이용하여 미래의 보급량을 예측하였다. 각 기기의 보급량은 운영상 이득 및 구입, 설치비용에 직접 관여하는 양이며 이 이득이 최대가 되기 위한 각 효율기기의 수요관리 목표량을 결정하였다. 현재 우리나라는 수요관리 프로그램이 시행되면서 효율향상 프로그램의 비중이 점차 커져가고 있는 추세이나 그 시행기간이 짧아 과거의 실적데이터가 많지 않으며, 특정 기기에 대한 인센티브의 적용 등으로 과거 실적데이터를 이용한 미래의 보급량 예측이나 목표량 설정에 유의하지 않을 가능성도 있다. 그러나 향후 수요관리 프로그램에 대하여 다양한 연구가 진행되고 그에 따른 각 기기의 실적데이터의 양이 많아진다면 연구의 목적에 맞는 결과를 얻을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김진오, 최정훈, 김정훈, 이창호, 김창섭, "DSM 모니터링을 위한 확산 모형의 계수 추정", 전기학회논문지, 제 48 A권, 제 10호, pp. 1183-1189, 10, 1999
- [2] S.I. Bretschneider and V. Mahajan, "Adaptive Technological Substitution Models", Technological Forecasting and Social Change, Vol.18, pp. 129-139, Oct, 1980
- [3] P.Venkataraman, "Applied Optimization with Matlab Programming", John Wiley & Sons Inc, pp. 120-124, 2002