

DSM Monitoring을 위한 확산 모델의 계수 추정

최청훈, 정현수, 김진오  
 한양대학교 전기공학과

Parameter estimation of the Diffusion Model for Demand Side Management Monitoring System

Cheong-Hun Choi, Hyun-Su Jeong., Jin-O Kim  
 Department of Electrical Engineering, Hanyang University

**Abstract** -This paper presents the method of parameter estimation of diffusion model for monitoring Demand-Side Management program. Bass diffusion model was applied in this paper, which has different values according to parameters: coefficients of innovation, imitation and potential adopters. Though it is very important to estimate three parameter, there are no empirical results in practice. Thus, this paper presents the method of parameter estimation in case of few data with constraints to reduce the possibility of bad estimation. The constraints are empirical results or expert's decision. Case studies show the diffusion curves of high-efficient lighting and also forecasting of the peak value for power demand considering diffusion of high-efficient lighting. the feedback and least-square parameter estimation method used in this paper enable us to evaluate the status and forecasting of the effect of DSM program.

1. 서 론

현재 우리 나라도 환경 문제, 지역 이기주의 등으로 인해 더 이상 발전소를 건설하기가 어렵게되어 수요관리(DSM) 프로그램의 필요성이 대두되었고 활발히 진행되고 있다. 수요관리 프로그램의 현재의 성과를 진단하고 앞으로의 효과를 예측하는 모니터링 시스템이 있어야 프로그램의 성과에 대한 의미를 알게되고 앞으로의 정책결정에 도움을 주게된다. 고효율 기기 보급 프로그램의 경우 현재 상태와 앞으로의 효과 추정을 위한 모니터링은 기기가 어느 정도 보급되고 있는지 그리고 앞으로 어느 정도 보급될 것인지에 대한 추정이 이루어져야 한다. 즉, 기기의 보급이 수요관리 모니터링을 위한 중요한 인자가 된다. 본 논문은 이점에 착안하여 보다 합리적인 모니터링을 위해서 시간에 따라 보급의 정도를 알 수 있는 확산 모델을 도입하였다. 한편 확산 모델에서는 혁신 계수와 모방 계수의 추정이 확산모델의 함수를 결정짓는 매우 중요한 인자이다. 계수 추정의 방법으로는 자료가 없는 경우, 계수 값이 시간에 따라 변하는 경우, 변하지 않는 경우 등이 있다[2][3]. 그런데 우리 나라의 경우 아직 자료수집체계가 미비하여 자료가 거의 없으며 존재하는 자료도 신뢰성이 낮아서 계수 추정이 매우 힘든 상황이다. 따라서 본 논문에서는 우리 나라 실정에서 최소 자료를 가지고 합리적인 계수 추정을 위한 방법을 제시하였고 이를 실제 고효율 조명 기기 보급에 적용하여 보았다.

2. 확산 모델

확산 모델이란 사회체제의 사람들에 의해 새로운 것으로 받아들여지는 생각, 객체, 관습등(innovation)이

시간에 따라 어떤 경로(Channel of communication)를 통해 사회체제에 속한 사람들 사이에 소통되는 것을 함수의 형태로 표현한 것이다.

적용되는 상황에 따라 다양한 형태의 확산 모델이 있으나 대체적으로 Bass 모델을 근간으로 하고 있다. Bass 모델은 hazard 함수로부터 식(2-1)과 같이 되며 여기서  $p, q$ 는 수요자의 성향을 대변한다.

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

$p$ : 혁신 계수(Coefficient of Innovation)

$q$ : 모방 계수(Coefficient of Imitation)

$f(t)$ : 시간  $t$ 에서의 채택 확률,

$F(t)$ : 시간  $t$ 에서의 누적 채택 확률.

여기서  $n(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 수요량,  $N(t)$ 는 누적 수요량,  $\bar{N}$ 은 잠재량이면  $f(t) = n(t)/\bar{N}$ ,  $F(t) = N(t)/\bar{N}$ 와 같이 표현되고 이것을 식(2-1)에 대입하여 정리하면 식(2-2)처럼 된다. 식(2-2)의 미분방정식을 풀면 식(2-3)과 식(2-4)처럼 된다.

$$\begin{aligned} n(t) &= \frac{dN(t)}{dt} \\ &= p[\bar{N} - N(t)] + \frac{q}{N} N(t)[\bar{N} - N(t)] \end{aligned} \tag{2-2}$$

$$N(t) = \bar{N} \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \tag{2-3}$$

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

따라서 확산 함수의 값은  $p, q, \bar{N}$  값에 따라서 결정된다.

3. 계수 추정

확산모델은 3가지 계수 값에 따라 확산 함수의 값이 달라지므로 계수 추정은 매우 중요하다. 계수 추정의 방법에 따라 계수의 값이 달라지게 되므로 유용한 자료의 양과 혁신물의 상황에 따라서 적절한 방법으로 추정을 해야 한다.[5]

3.1 시계열 자료가 없는 경우

자료가 없는 경우에는 유사 혁신물 모델을 분석하거나 경영자 판단[7]에 의하는 경우가 있다.

Mahajan 과 Sharma의 방법은 잠재량, 최대 수요 시기( $T^*$ ) 그리고 그때의 수요량( $n^*$ )을 경영자 판단에 의한 방법인데 이 경우 확산 함수의 주요 산출물인 최대 수요 시기를 경영자 판단에 따른 것이므로 확산 함수의

의미가 없어지게 된다. 다른 방법으로는 Lawrence 와 Lawton이 제시한 방법으로 잠재량과 초기수요량  $n(0)$  그리고  $p+q$ 의 값을 알게 되면  $p, q$ 의 값을 추정할 수 있게 된다는 것이다. 하지만  $p+q$ 의 추정은 어려운 일이다. Lawrence 와 Lawton은 산업재의 경우  $p+q$ 의 값을 0.66, 소비재의 경우 0.50 그리고 일반적으로는  $0.3 < p+q < 0.7$  제안했다[2].

### 3.2 유용한 자료가 있는 경우

자료가 있는 경우는 시간에 따라 계수의 값이 변하는 경우와 변하지 않는 경우가 있다.

#### 3.2.1 시불변 계수 추정

최소 제곱법은 주어진 자료와의 오차를 최소화하는 방법으로 계수를 추정하는 것인데 물리적으로는 의미가 없는 음의 값이 나올 수도 있는 점과 새로운 시장의 변화를 반영하지 못하는 단점이 있다. 식(2-1)을 이산형태로 표현하면 식(3-1)이 된다.

$$n(t) = a\bar{N} + (b\bar{N} - a)N(t-1) - bN^2(t-1) \quad (3-1)$$

$$= a_1 + a_2N(t-1) + a_3N^2(t-1)$$

목적함수 식(3-2)에서  $a_1, a_2, a_3$ 를 구한 후 식(3-3)에서  $p, q, \bar{N}$ 을 구한다.

$$\min Z = \sum_{t=1}^T (n(t) - (a_1 + a_2N(t) + a_3N(t)^2)) \quad (3-2)$$

$$p = \frac{a_1}{\bar{N}}$$

$$q = -a_3 * \bar{N} \quad (3-3)$$

$$\bar{N} = \frac{-a_2 \pm (a_2^2 - 4a_1a_3)^{1/2}}{2a_3}$$

#### 3.2.2 시변 계수 추정

시간에 따라서 계수가 변하는 방법으로는 Bayes procedure[3], feedback filters[1]등의 방법이 있다. Feedback 방법은 식(3-4)처럼  $t-1$ 이전까지의 계수 값으로  $t$ 에서의 값을 추정한 후 새로운 실적 자료와 비교하여 그 오차를 줄이는 방향으로 계수의 값을 개선시키는 것이다. 결국 feedback 방법은 새로운 자료가 유용하도록 계수 값을 향상시키는 것이다. 계수 값이 변한다는 것은 시장환경의 변화를 반영한다는 것이다. 그러나 이 방법은 지속적인 자료의 입력이 요구되어 자료의 양이 부족하거나 계속적인 자료의 획득이 안될 경우는 적용할 수 없게 된다.

$$\hat{n}(t) = \hat{a}_1(t-1) + \hat{a}_2(t-1)N(t-1) + \hat{a}_3(t-1)N^2(t-1) \quad (3-4)$$

$$\hat{a}_i(t) = \hat{a}_i(t-1) + A_i(e(t))$$

$A_i(e(t))$ : 한 단계 이전 예측에 의한 오차 함수

### 4. 제약 조건이 있는 비선형 최적화

확산 함수의 모양은 초반 자료의 값에 민감하게 반응하므로 우리 나라처럼 계속적인 자료의 획득이 어렵고 축적된 자료의 양이 적은 상태에서 잘못된 추정의 확률을 줄이기 위해 기존문헌에서의 경험치와 권고치를 제약조

건으로 하였다. 즉, 자료가 없는 경우의 권고치  $0.3 < p+q < 0.7$  와 최소제곱법의 단점을 보완하기 위해 물리적인 확산 계수의 의미를 갖도록  $0 < p, 0 < q$  그리고 기존 문헌에서의  $p$ 의 범위를 고려  $p < 0.1$ 를 식(4-1)에서 처럼 제약조건으로 하는 비선형 최적화 방법으로 초기 3년치 자료를 가지고 식(3-1)의해 초반 확산의 추이를 추정한 다음, 새로운 조사를 통하여 얻은 자료를 가지고 식(3-4)에 의해 추정치와 실측치와의 오차를 feedback 시켜 새로운 시장환경의 변화를 반영한다.

$$\min Z = \sum_{t=1}^T (n(t) - (a_1 + a_2N(t) + a_3N(t)^2)) \quad (4-1)$$

$$0.3 < p+q < 0.7$$

$$0 < p, 0 < q$$

$$p < 0.1$$

$$k^* 10^* n_{data}(1) < m < h^* 100^* n_{data}(1)$$

$k, h$  = 전문가에 의한 상수

### 5. 사례연구

앞에서 제시한 방법으로 직관식 형광등은 고효율 형광등(전자식 안정기를 포함)으로 백열등은 전구식 형광등으로 교체되는 경우의 확산모델의 계수추정을 통해서 최대 수요전력을 추정하였다. 대상기간은 94년에서 시작하여 2010년에 끝나는 것으로 하였다. 다만 전구식 형광등의 경우는 94년에 조사된 양이 이미 상당히 확산이 진행된 수치여서 확산의 보급원년 시점을 88년으로 가정하였고 잠재량의 대략적인 범위는 평일 부하의 평균성장률 3%를 고려하여 2010년에는 현재보다 약 1.5-1.6 배 증가할 것으로 정하였다. 표1은 94년 현재 기존 기기 대수를 표2는 고효율 기기 대수를 나타내는데 세 개의 계수 추정을 위해서는 최소 3년치 자료가 필요하므로 기존문헌을 참고로 수집 가공하였다. 계수의 추정결과는 표3에 있다.

표1. 기존 기기 대수

단위: 천 대

|       | 직관식 형광등 | 백열등    |
|-------|---------|--------|
| 1994년 | 98,241  | 11,920 |

표2. 고효율 기기 대수

단위: 천 대

|       | 고효율 형광등 |       | 전구식 형광등 |
|-------|---------|-------|---------|
| 1994년 | 191     | 1988년 | 44      |
| 1995년 | 267     | 1989년 | 62      |
| 1996년 | 440     | 1990년 | 104     |

표3. 계수 추정결과

|         | $p$    | $q$    | $\bar{N}$ | $T$   |
|---------|--------|--------|-----------|-------|
| 고효율 형광등 | 0.0011 | 0.5530 | 159880 천대 | 2005년 |
| 전구식 형광등 | 0.0019 | 0.5781 | 21598 천대  | 1998년 |

그림1은 형광등의 보급곡선으로 2000년에 새로운 자료의 입력을 예측치 보다 작게 가정하였을 때 이를 반영하는 보급의 추이를 나타낸다. 그림2와 비교하면 전구식

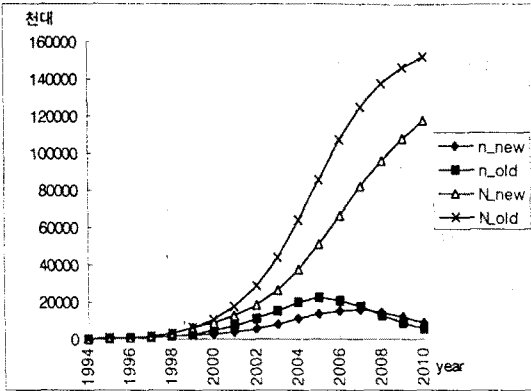


그림1. 고효율 형광등의 보급 추이 곡선

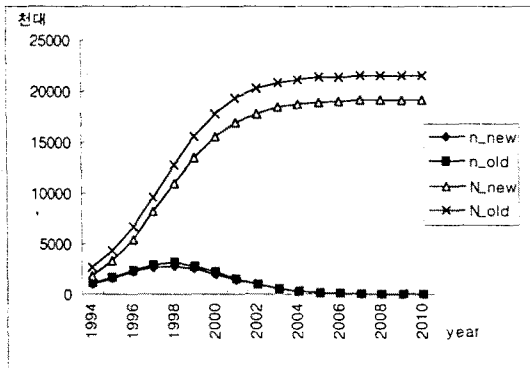


그림2. 전구식 형광등의 보급 추이 곡선

형광등은 보급확산이 빨라 98년에 최대수요시점에 이를 것으로 보여지고 2010년경에 포화할 것으로 여겨진다. 이에 비해 고효율 형광등은 확산이 활발히 진행중이고 최대수요시점은 2005년경으로 추정된다. 한편 그림1과 2에서 n\_old와 N\_old는 초기 3년 동안의 자료의 추정 에 의한 당해 연도와 누적수요 곡선이며 n\_new와 N\_new는 새로운 자료의 입력을 반영한 곡선이다.

그림 3과 4는 앞에서 추정된 보급대수를 기반으로 하여 피크시 고효율 기기에 의한 전력감소의 효과를 보여준다. 산정 방법은 보급대수에 소비전력과 부동률, 수율을, 일치율을 곱하여 구하였다. 그림에서 P\_low는 기존 저효율 기기에 의한 전력 수요, P\_high는 고효율에 의한 전력 수요, Ppk\_new는 P\_low와 P\_high를 합한 것으로 고효율 확산을 고려한 피크시 전력수요를 보여준다. Ppk\_old는 고효율 보급이 전혀 없을 경우 전력수요를 나타낸다. 그 결과 고효율 형광등의 경우는 확산 초기에는 점차 증가하다가 확산이 본격화되면서 감소하는 것을 볼 수 있고 전구식의 경우는 확산이 어느 정도 진행된 상태에서 초반부터 감소하다가 기존 기기 모두 고효율로 대체된 이후에는 고효율 기기 자체의 증가에 의해 점차 증가세로 돌아서는 것을 볼 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 초기 자료의 양이 적어서 생길 수 있는 추정오차를 최소화하고 연속적인 자료의 획득이 어려운 상황에서 시장 환경의 변화를 반영하는 확산모델을 개발하기 위해 자료가 없는 경우의 권고치를 제약 조건으로

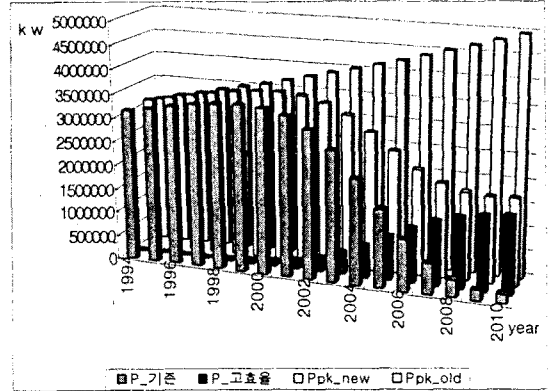


그림4. 고효율 형광등에 의한 피크시 전력 수요 변화

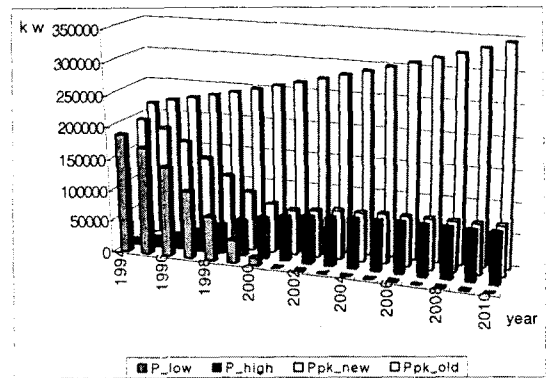


그림4. 전구식 형광등에 의한 피크시 전력 수요 변화

하고 feed-back을 혼합한 계수추정의 방법을 제시하였고 이를 현재 진행중인 고효율 조명 기기 보급에 적용하여 프로그램의 현재의 상태와 피크시 고효율 기기의 보급에 의한 전력수요의 변화를 예측하였다. 향후에는  $b, q$  값의 민감도를 조사하여 특수 인자에 대한 변화를 알게 되면 더 나은 방안을 얻을 수 있을 것으로 여겨진다.

## (참고 문헌)

- [1] STUART I. BRETSCHNEIDER and VIJAY MAHAJAN, "Adaptive Technological Substitution Models", technological forecasting and social change Vol.18, pp. 129-139, 1980
- [2] Lawrence, Kenneth D. and William H. Lawton "Applications of Diffusion Models: Some Empirical Results" Lexington Books, 529-541, 1981
- [3] F.M. Bass, "New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research," Journal of Marketing, Vol. 54 pp. 1-26 January, 1990
- [4] 한국전력공사, "조명 기기 보급실태조사", 1994. 8
- [5] Sultan, Fareen, John U. Farley, and Donald R. Lehmann, "A Meta-Analysis of Diffusion Models," Journal of Marketing Research, forthcoming, 1990
- [6] VIJAY MAHAJAN, ROBERT A. PETERSON "Models for innovation diffusion", SAGE pub, 1985
- [7] Souder, William E. and M. A. Quaddus, "A Decision Modeling Approach to Forecasting the Diffusion of long wall Mining Technologies," technological forecasting and social change Vol.21, pp. 1-14, 1982