

# 전력수요관리 보조금 지원조건을 고려한 고효율기기의 확산모형 연구

論 文  
51A-12-6

## A Study on Diffusion Model of High-Efficient Appliance Considering DSM Rebate Program's Conditions

金 會 喆\* · 李 正 奎\*\* · 慎 重 麟\*\*\* · 朴 宗 倍§  
(Hoi-Cheol Kim · Jeong-Kyu Lee · Joong-Rin Shin · Jong-Bae Park)

**Abstract**-This paper proposed a new diffusion model considering DSM rebate program's support conditions. The proposed method used some aspects of the rebate program such as support qualifications, annual support volume, and support level per appliance as following : The support qualifications were limited as the consumer which can get the rebate program's benefit, the annual support volume was constrained as the fixing budget and the support level per appliance was considered by high-efficient appliance actuality price. This paper also proposed a new method that used neural network as its parameter estimation method for the diffusion model. The diffusion model and its parameter estimation method are expected to be able to analyze the diffusion characteristics of high-efficient appliance through the rebate program and the effects of rebate program's support conditions. Also, these will be able to evaluate the impacts and to analyze the cost-effectiveness of Energy Efficiency Demand-Side Management(EEDSM) resources. The case study is performed on the high-efficient lighting appliance rebate program of Korea by using the suggested diffusion model and estimation method and thus verified its validity.

**Key Words** : Diffusion Model, High-Efficiency Appliance, Rebate Program, Rebate Program's Conditions, Demand-Side Management(DSM), Neural Network

### 1. 서 론

경제성장과 더불어 청정의 고급 에너지원인 전력에 대한 수요는 급격히 늘어나고 있는 반면, 이러한 수요를 공급하기 위한 전통적인 발전자원의 건설은 입지 확보의 어려움, 대규모 설비투자비의 소요, 환경 문제의 대두 등에 의하여 현재 많은 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다. 따라서, 사회적 비용을 최소화하도록 전력을 공급하기 위해서는 공급측 자원과 더불어 수요측 자원(전력수요관리)의 적극적 고려가 사회적으로 더욱 강조되고 있고, 우리나라도 1980년이래 수요관리를 적극적으로 추진하여 왔다. 그러나, 전력회사의 판매수익금의 일부로 수요관리가 추진되므로 전력회사는 공급의무 및 단기적 투자비 절감을 위하여 효율향상 프로그램보다는 부하관리의 실시에 보다 많은 관심을 보여왔다. 이러한 이유로 고효율 조명기기 보조금 지원제도가 1993년에 최초로 시행된 후 최근 들어 전력산업 구조개편과 인식의 변환으로 고효율 자판기, 고효율 인버터 및 고효율 전동기와 같은 효율향상 수요관리자원에 대해 보조금이 지원되기 시작하였다. 하지만, 수요관리자원에 대한 보조금 지원제도는 지원대상 소비자, 연간지

원규모 및 기기당 보조금 수준 등을 산정할 수 있는 모형이 개발되어있지 않기 때문에, 고효율기기 보급의 도입, 성장, 성숙 및 쇠퇴과정에 따른 지원대상, 지원규모 및 보조금 수준 등과 같은 보조금 지원계획을 객관적으로 수립하지 못하는 실정이다. 그리고 이러한 모형개발과 향후 지원계획 수립을 위해서는 각 수요관리기기의 생산량, 판매량, 판매가격과 같은 생산자측 자료와 수요관리자원의 보급을 위해 투입되는 총비용(보조금 규모, 인건비, 광고비 등)과 같은 정부측 자료 및 수요관리기기의 사용패턴과 같은 수요자측 자료에 대한 데이터베이스 구축미비와 각 수요관리 자원별 성과계량 표준화 방법론과 계산 프로그램/도구 등이 개발되어있지 않아 객관적인 자료를 제공하지 못하는 실정이다. 마케팅분야에서는 수요관리자원과 같은 내구재 혁신품에 대한 확산연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 현재까지 널리 적용되고 있는 모형이 Bass의 확산모형이다(1969)[1]. 제품확산모형은 기업이 목표로 정하는 예상구매자들이 신제품을 구입해 가는 과정을 이론적으로 규명함으로써 기업의 마케팅활동에 유용한 시사점을 발견하고자 하는 것이다. 그간의 연구는 Bass의 확산모형을 기본으로 가격, 광고반응함수 및 불확실성 등을 마케팅 변수로 고려한 수정확산 모형이 제안되었으며[2-5], 공급측의 공급계약 영향을 고려한 수정확산모형이 제안되어 공급자원 제약에 대한 확산형태도 연구된 적이 있다[6-7]. 또한 Bass의 확산모형에서 가정된 최초구매 모형에 대체구매와 교체구매 효과를 고려한 모형이 제안되었다[8]. 그리고 확산모형에서 실적데이터를 통하여 미래의 확산형태를 예측하기 위해서는 확산계수추정 또한 중요한 문제라 하겠다. 기존의 확산계수

\* 正 會 員 : 에너지管理工團 電力需要管理팀 研究員

\*\* 準 會 員 : 建國大學 電氣工學科 碩士課程

\*\*\* 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 教授 · 工博

§ 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 助教授 · 工博

接受日字 : 2002年 9月 17日

最終完了 : 2002年 10月 8日

추정 방법으로는 최소자승법(Ordinary Least Square : OLS)[1], 최대우사추정법(Maximum Likelihood Estimation : MLE)[10], 비선형최소자승법(Nonlinear Least Square : NLS)[9] 그리고 칼만필터추정(Kalman Filter Estimation : KFE)[11]방법 등이 사용되고 있다. 또한, 기존의 연구결과에서 제시한 각 계수의 추정값들의 범위를 제약조건으로 하여 최적의 계수를 추정하는 방법 또한 소개되고 있다[12]. 그러나, 위에서 제시한 방법들은 수치적인 방법을 통하여 계수를 추정하므로 비선형 특성이 강한 확산모형의 계수를 추정하는데에는 한계가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 수요관리자원에 대한 보조금 지원제도에서 지원조건 변화에 따라 고효율기기 보급에 미치는 영향을 분석하기 위한 고효율기기의 확산모형을 제안하였다. 또한 확산계수 추정방법으로 비선형 특성에 강한 신경회로망을 이용하여 추정하였으며, 비선형 최소자승법(NLS : Nonlinear Least Square)과 그 결과를 비교하였다. 본 논문은 보조금 지원조건이 고려된 확산모형을 제안하였으며, 제안된 확산모형은 보조금을 통한 고효율기기의 연도별 보급량을 추정할 수 있으며, 향후 보조금 지원계획 수립에 적용하고자 한다. 또한 연도별 보급 추정량은 수요관리자원의 전력사용태를 분석한 결과와 함께 보조금 지원제도를 통한 성과계량에 기초자료로 사용할 수 있으며, 고효율기기 보급을 위한 경제성분석에 기초가 되는 비용효과 분석에 이용 가능하다.

**2. 수요관리자원별 보조금 지원제도 현황**

수요관리자원의 보조금 지원제도는 1993년에 고효율 조명기기 보조금 지원제도를 처음으로 1999년에 고효율 자판기가 제도를 개선하여 본격적으로 도입되었고 2000년에는 고효율 인버터 보조금 지원제도가 도입되었다. 전력산업구조개편이 진행되고 있는 2002년에는 고효율전동기의 보조금 지원제도의 시범사업이 실시되고 있다. 각 수요관리자원별 보조금 지원제도의 내용은 다음과 같다[14].

**2.1 고효율 조명기기 보조금 지원제도**

고효율 조명기기 보조금 지원은 실시 이후 현재까지(2001년) 형광등용 안정기 12,565천개, 전구형 형광등 772천개이고 지원금액은 총 544억원을 지원하였다. 또한 보조금은 절전용량 6kW이상인 소비자에게 전자식 안정기의 경우 대당 3,240원을 전구형 형광등은 대당 2,700원을 지원하고 있다.

**2.2 고효율 자판기 보조금 지원제도**

대상자판기로는 캔(병)음료용과 PET병 음료용 자판기로 기기구매자(업체)에게 지원해주고 있으며, 지원금액은 대당 16만원으로 하고 있다. 2002년까지 보급계획은 10,000대를 목표로 하고 있고, 지원금 규모는 16억으로 계획하고 있다. 이는 효율향상 프로그램보다는 하절기 냉방부하를 줄이기 위한 부하관리 보조금 지원제도라 할 수 있다.

**2.3 인버터 보조금 지원제도**

인버터 보조금은 산업용 팬, 펌프, 송풍기, 압축기 등과 같은 저감토크 부하를 대상으로 하고 있으며, 7.5~55kW(9종) 전동기에 설치하는 인버터에 대하여 25kW이상의 전력절감을 할 수

있을 경우 kW당 198천원을 지원해주고 있다. 특히 사항으로는 상용주파수(60Hz)보다 낮게 주파수를 조정하면 피크역제 및 에너지절감이 가능하므로 최대출력 주파수를 고정하기 위한 제어장치를 부착한 인버터로 지원범위를 한정하고 있다.

**2.4 고효율전동기 보조금 지원제도**

고효율전동기는 에너지관리공단이 고효율에너지기자재로 인증하는 e'-마크가 부착된 고효율유도전동기(3상교류전압 600V이하의 0.75~200kW)를 절전용량 1kW 이상 신규설치 또는 교체하는 소비자에 대하여 절전용량 1kW당 167,000원을 지급하고 있다.

위와 같이 고효율기기 보급을 위하여 현재 시행중이거나 본격적인 시행 전에 시범적으로 수행하는 보조금 지원제도는 소비자 입장에서 가장 민감한 기기당 지원금액을 포함하여 연간지원규모 및 지원대상 소비자의 영향을 고려할 수 있는 확산모형이 개발되어있지 않기 때문에, 단순 회귀분석으로 추정된 보급량에 의존하고 있다. 그리고 고효율기기 보급의 도입, 성장, 성숙 및 쇠퇴과정에 따른 지원대상, 지원규모 및 보조금 수준 등에 대한 향후 보조금 지원계획을 객관적으로 수립하지 못하는 실정이다. 따라서 본 논문은 이러한 고효율기기를 신제품(또는 혁신)으로 보고 마케팅 분야에 사용되고 있는 확산모형을 이용하여 보조금 지원조건이 고려된 확산모형을 제안하며, 이러한 확산 보급량을 향후 보조금 지원계획 수립에 적용하고자 한다.

**3. 지원조건을 고려한 확산모형**

고효율기기의 보급프로그램으로 인한 잠재량은 결국 그 기기가 얼마나 보급되느냐에 따라 결정되는 요소이므로 본 절에서는 현재 널리 사용되고 있는 제품의 수요(보급률)를 나타내는 확산모형을 통하여 보조금 지원을 통한 고효율기기의 T년도 보급량을 추정하도록 한다. 개개의 기기 수요자에 의한 고효율기기(신제품)의 채택시점을 임의변수 T라 하고 채택시점을 설명하기 위하여 가장 자주 사용되는 모형이 Bass(1969) 모형이다. 이모형에서 f(t)와 F(t)는 초기 채택이 이루어질 때까지의 확률변수 T의 밀도함수와 분포함수로 정의하였다. t시간에는 채택하지 않는 개인이 간격 (t, t+dt) 동안에 구매가 이루어질 조건부 확률은 γ(t)dt로 주어진다. 여기서 γ(t)=f(t)/[1-F(t)] 일반적인 hazard-rate 함수이다. Hazard 함수는 T시간까지는 제품을 채택하지 않은 개인이 주어진 시간 t에서 순간적인 채택률을 정의하는 식이다. Bass는 hazard 함수가 F에 대해 선형임을 가정하고 채택확률을 식 (1)과 같이 제안하였다[1].

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

여기서, f(t) ; t시간 기기 채택확률, F(t) ; t시간 기기 누적 채택확률, p ; 혁신계수, q ; 모방계수.

식 (1)에서 p와 q는 신제품의 확산에 외적 그리고 내적으로 영향을 주는 혁신과 모방계수이다. 또한 식 (1)에 잠재 채택자(M)를 대입하여 다시 쓰면, t년도 채택자를 나타내는 식 (2)가 된다[10].

$$\frac{dN(t)}{dt} = p[M - N(t)] + \frac{q}{M} N(t)[M - N(t)] \quad (2)$$

여기서,  $N(t)$  ;  $t$ 년도 누적채택자,  $M$  ; 잠재 채택자.

전술한 보조금 지원제도를 통하여 지원하는 고효율기기의 지원내용은 크게 세 가지 조건을 고려하고 있다. 첫 번째는 지원 최소 절감량이다. 이는 고효율기기를 설치할 경우 지원되는 최소 절감량을 규제하는 것으로 일정 규모이상의 소비자로서 지원범위를 제한하는 것이다(전자식안정기의 경우 절감량이 6kW이상부터 지원하므로 최소 2등용 형광등 167대 이상을 보유한 소비자만 신청 가능). 두 번째로 연간 지원할 수 있는 예산규모의 제약이다. 매년 보조금 지원제도에 책정되는 예산규모는 매년 보급할 수 있는 고효율기기의 총 규모를 제한하게 된다. 즉, 고효율기기 설치를 위하여 보조금을 신청하여도 연간 배정된 예산규모를 초과할 수 없으므로 예산규모는 공급제약의 역할을 하게 되고, 이로 인하여 대기자가 발생하게 된다. 끝으로 기기당 지원하는 보조금의 제약이다. 현재 실시하고 있는 보조금 지원제도의 대부분은 제도를 실시하는 시작 시점의 일반기와 고효율기기의 가격차 또는 회피비용계산을 통하여 산정한 보조금을 시장상황의 고려 없이 최소에 설정한 보조금으로 일정하게 지원하고 있다[15-16]. 따라서 본 논문은 이러한 보조금지원 조건과 신제품의 확산모형을 결합한 수정확산 모형을 제안하고자 한다.

### 3.1 지원대상 ( $M_i(t)$ )

본 논문에서 지원대상은 앞에서 언급한 지원 최소 절감량 제약을 고려하기 위한 것으로,  $t$ 년도에  $i$  고효율기기 보조금 지원을 받을 수 있는 최대 소비자 범위로 정의한다. 또한, 신제품 확산모형에서는 이를 잠재시장 또는 잠재채택자로 정의하였다.  $i$  고효율기기를 사용할 수 있는 전체 소비자, 즉, 지원대상과 지원대상에서 제외되는 소비자를 합한 전체 소비자를 전체 잠재자로 정의한다. 따라서, 본 논문에서 연도별 지원대상(잠재 채택자)은 전체 잠재채택자에 지원대상 제한비율을 곱한 식을  $t$ 의 함수로 식 (3), 그림 1과 같이 표현하였다.

$$M_i(t) = \alpha(t) TM_i(t) \quad (3)$$

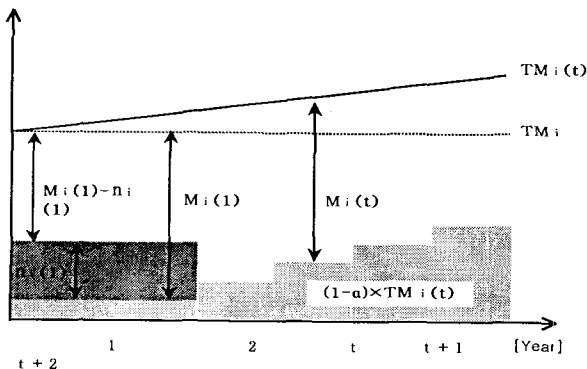


그림 1 잠재량의 구분

Fig. 1 Difference of Potential Capacity

여기서,  $M_i(t)$  ;  $i$  고효율기기의 보조금 지원대상(잠재채택자),  $\alpha(t)$  ; 지원대상 제한비율,  $TM_i(t)$  ;  $i$  고효율기기의 전체 잠재채택자,  $n_i(1)$  ; 초기년도에  $i$  고효율기기 채택자.

즉,  $\alpha(t) = 1$ 이면 지원대상이 전체 잠재채택자와 같아 지원대상 제약이 없는 것이며,  $\alpha(t) < 1$  이면 최소 지원가능 절감량 제약에 의해 감소되는  $t$ 년도의 지원대상 감소를 나타낸다.

### 3.2 지원규모 ( $m_i(t)$ )

지원규모는 매년 보조금으로 지급할 수 있는  $i$  골율기기 지원대수(예산)의 한계로 정의한다. 이러한 한계는 수요관리 정책에 따라 완화되거나 축소된다. 현재 지원제도의 연도별 지원규모는 매년 증가 추세이나, 이로 인하여 신청자가 채택자로 되는 소비자 흐름은 지원규모로 제어된다. 이러한 문제를 다루기 위해 Jain, Mahajan, Muller는 확산모형을 잠재 채택자, 신청자 그리고 채택자의 세 단계모델로 Bass 모형을 확장하였다. 잠재 채택자와 채택자의 두 단계모델인 Bass 모형에 공급제약으로 채택자를 제어할 수 있는 신청자가 도입된 모형을 제안하였다. 신청자는 이미 보조금 지원대상에 포함된 것으로 남아있는 잠재신청자의 보조금 신청에 영향(구전을 통하여)을 줄 수 있으며 이를 위한 수요가 발생한다. 신청자와 채택자 모두가 이러한 영향을 받는다면, Bass 모형에 따라 소비자들의 흐름이 아래의 식(4-5)과 같이 표현된다[6-7].

$$\frac{dA_i(t)}{dt} = (p + \frac{q_1}{M_i} A_i(t) + \frac{q_2}{M_i} N_i(t))(M_i - A_i(t) - N_i(t)) - c(t)A_i(t) \quad (4)$$

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = n_i(t) = c(t)A_i(t) \quad (5)$$

여기서,  $A_i(t)$  ;  $t$ 년도의  $i$  골율기기 신청자,  $p$  ; 혁신계수,  $q_1, q_2$  ; 각각 신청자와 채택자의 모방계수,  $M_i$  ; 지원대상(상수),  $N_i(t)$  ;  $t$ 년도의  $i$  골율기기 누적 채택자,  $n_i(t)$  ;  $t$ 년도의  $i$  골율기기 채택자,  $c(t)$  ; 공급계수.

식 (4)의 표현에 따라 신청자의 변화율은 잠재 채택자에서 신청자와 채택자의 영향으로 발생한 새로운 신청자(New Applicants, 식 (4)의 첫 번째 항)에 의해 증가되고 신청자에 의한 모방계수  $q_1$  과 채택자에 의한 모방계수  $q_2$  에 반영된다. 그러나, 이는 신청자가 채택자로 변환되는 비율에 따라 증감하고, 공급계수  $c(t)$  에 의해 제한된다. 공급제약이 없는 경우 즉,  $c(t)$  가 1이면, 보조금을 신청하는 모든 소비자는 신청시점에 지원을 받을 수 있으며,  $c(t) < 1$  이면 공급제약에 의해 감소되는  $t$ 년도의 채택자 감소를 나타낸다[7]. 그러나 기존문헌에서 공급제약은 신청자에 대한 일정비율이 채택자로 변환되도록 제어변수,  $c(t)$  를 정의하였고 과거의 데이터로부터 제어변수를 추정하여 공급제약을 적용하였지만, 본 논문의 공급제약은 매년 책정되는 예산규모와 신청자를 비교한 최소값을 채택자로 규정하는 식 (6)을 제안하여 골율기기의 보급에 미치는 지원규모의 영향을 고려하고자 한다.

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = n_i(t) = \min(m_i(t), A_i(t)) \quad (6)$$

여기서,  $m_i(t)$  ;  $t$ 년도  $i$ 고효율기기의 보조금 지원 최대가 능대수(지원규모).

### 3.3 보조금 수준( $P_i(t)_{NV}$ )

소비자를 대상으로 한 보조금 지원은 단위당 구매비용의 감소를 가져오며 가격인하와 유사한 효과를 가진다. 따라서 보조금지원이 고효율기기의 확산에 미치는 영향은 가격이 제품 채택에 미치는 영향을 분석함으로써 가능하다. 본 논문에서는 기기가 가격이  $t$ 시점의 잠재 채택자에 영향을 주는 것으로 가정하였으며, 가격함수의 형태는 다음과 같이 정의하였다[5].

$$G(P_i(t)) = \left( \frac{P_i(t)}{P_i(T)} \right)^\eta \quad (7)$$

여기서,  $G(P_i(t))$  :  $t$ 년도  $i$ 고효율기기의 가격함수,  $P_i(t)$  :  $t$ 년도  $i$ 고효율기기의 가격,  $P_i(T)$  : 고찰기간( $T$ )에서  $i$ 고효율기기의 가격 평균,  $\eta$  = 가격탄력성.

또한 위의 가격함수는 보조금을 통한 고효율기기의 보급에 미치는 영향을 고려하기 위하여 고효율기기와 표준기기가격의 편차를 시장상황에 따라 지원금 수준이 변화는 가변 지원금과 보조금 설계시점에서 책정된 보조금 수준으로 일정하게 지급되는 고정지원금으로 구분하였으며, 식 (8-9)와 같이 정의하였다.

$$P_i(t)_{NV} = P_i(t)_{RV} - P_i(t)_{IN} \quad (8)$$

$$P_i(t)_{IN} = DR(t) \times (P_i(t)_{RV} - P_i(t)_{SV}) \quad (9)$$

여기서,  $P_i(t)_{NV}$  ;  $t$ 년도  $i$ 고효율기기에 보조금 수준이 반영된 가격,  $P_i(t)_{RV}$  ;  $t$ 년도  $i$ 고효율기기의 시장가격,  $P_i(t)_{IN}$  ;  $t$ 년도  $i$ 고효율기기의 보조금 수준,  $DR(t)$  ; 지원비율,  $P_i(t)_{SV}$  ;  $t$ 년도  $i$ 표준기기의 시장가격.

식 (9)에서 DR은 보조금 지원비율을 결정하는 할인율(Discount Rate)로서, DR이 1이면 고효율기기와 표준기기의 가격차 전액을 보조금으로 지원하게 되며, DR이 0인 경우는 보조금 지원이 전혀 이루어지지 않게 된다. 또한 식 (9)는 시장조건에 따라 연도별 보조금 수준이 변경되는 가변 지원금을 정의한 것이다. 그러나 현재 우리나라의 보조금 수준은 각 기기가 가격이 시간이 경과함에 따라 변화하여도 보조금 지원수준 설계시점에 책정된 지원수준을 일정하게 지급하고 있으며, 이를 고정지원금으로 정의하고 식 (10)과 같이 나타내었다.

$$P_{i,IN} = DR(t_0) \times (P_i(t_0)_{RV} - P_i(t_0)_{SV}) = constant \quad (10)$$

여기서,  $t_0$  ; 보조금 설계시점(초기년도).

이와 같이 고정지원금 방식은 기기의 시장상황을 전혀 반영하지 못하므로 고효율 기기의 보급촉진을 유도하기 위한 보조금 지원 목적을 효과적으로 달성하지 못할 가능성을 가

지고 있다. 본 논문은 보조금 지원제도의 지원조건이 고효율 기기의 보급에 미치는 영향분석을 위한 확산모형을 다음과 같이 제안한다.

$$\begin{aligned} \frac{dZ_i(t)}{dt} &= \frac{dA_i(t)}{dt} + \frac{dN_i(t)}{dt} \\ &= (p + \frac{q_1}{M_i(t)} A_i(t) + \frac{q_2}{M_i(t)} N_i(t))(M_i(t) - A_i(t) - N_i(t)) \end{aligned} \quad (11)$$

먼저 새로운 신청자의 동특성을 알기 위하여  $t$ 년도에 채택자수와 신청자의 합을 새로운 신청자,  $z(t)$ 로 정의하고, 식 (5)를 식 (4)에 대입하면 식 (11)과 같이 지원대상과 지원규모를 고려한 식을 얻을 수 있다. 식 (11)는 식 (4)의 첫 번째 항을 포함하고 잠재 채택자부터 신청자까지의 소비자 흐름을 알 수 있으며, 이는 보조금 지원을 원하는 새로운 신청자 비율을 표현한다. 지원규모에 의해 직접적으로 영향을 받지 않을 지라도 이 비율은 식 (6)에서 나타낸 것과 같이 채택자의 크기에 영향을 주기 때문에 지원규모에 의해 간접적으로 영향을 받는다. 또한 보조금 수준을 고려하기 위하여 보조금 수준이  $t$ 년도 잠재 채택자에만 영향을 주는 것으로 가정하고 식 (9-10)과 같이 지원수준을 정의하고 식 (7)에 대입하여 식 (11)을 다시 정리하면 식 (12-13)과 같다.

#### o 가변지원금을 적용하는 경우

$$\begin{aligned} \frac{dZ_i(t)}{dt} &= (p + \frac{q_1}{M_i(t)} A_i(t) + \frac{q_2}{M_i(t)} N_i(t))(M_i(t) - A_i(t) - N_i(t)) \\ &\quad \times ((P_i(t)_{RV} - DR(t) \times (P_i(t)_{RV} - P_i(t)_{SV})) / P_i(t)_{RV})^\eta \end{aligned} \quad (12)$$

#### o 고정지원금을 적용하는 경우

$$\begin{aligned} \frac{dZ_i(t)}{dt} &= (p + \frac{q_1}{M_i(t)} A_i(t) + \frac{q_2}{M_i(t)} N_i(t))(M_i(t) - A_i(t) - N_i(t)) \\ &\quad \times ((P_i(t)_{RV} - DR(t_0) \times (P_i(t_0)_{RV} - P_i(t_0)_{SV})) / P_i(T)_{RV})^\eta \end{aligned} \quad (13)$$

따라서, 본 논문에서는 지원대상, 지원규모 그리고 보조금 수준을 고려한 새로운 신청자의 성장형태를 표현하는 확산모형을 식 (14)와 같이 이산적(Discrete)으로 표현하였다.

$$\begin{aligned} Z(t+1) &= \{ pM_i(t) - (p - q_1)A_i(t) - (p - q_2)N_i(t) \\ &\quad - (q_1 + q_2)A_i(t)N_i(t)/M_i(t) - q_1A_i^2(t)/M_i(t) \\ &\quad - q_2N_i^2(t)/M_i(t) \} G(P_i(t))_{NV} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서,  $G(P_i(t))_{NV}$  ; 지원수준이 반영된  $i$ 고효율기기의 가격.

## 4. 계수(Paramater) 추정

확산모형에서 확산형태를 추정하기 위해 설정한 확산계수 즉, 모방계수, 혁신계수 그리고 가격 탄력성과 같은 계수의 추정 또한 신제품의 확산형태를 분석하는 데 가장 중요한 문제 중에 하나이다. 기존의 계수추정은 Bass가 제안한 최소자승(OLS)추정 방법[1], Schmittlein과 Mahajan의 최대유사추정(MLE)방법[10], Srinivasan과 Mason이 도입한 비선형최소자승(NLS)추정방법[9] 그리고 최근에는 Jinhong, Marvin 등의

칼만필터추정(KFE)방법[11] 등이 적용되고 있으나, 수치적인 방법을 통하여 계수를 추정하므로 비선형 특성이 강한 모형의 계수를 추정하는 데에는 한계가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 한계를 극복하기 위하여 최근 컴퓨터의 발달과 더불어 인간과 같이 계산하고 판단하며, 인식할 수 있는 인공지능(Artificial Intelligence)의 구현에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 따라서 본 논문은 비선형 특성이 강한 확산모형의 계수추정에 신경회로망을 이용한 계수추정(NNPE : Neural Network Parameter Estimation)방법을 제안하였으며, 제안한 신경망의 구조는 다층 퍼셉트론(Multi Layered Perceptron)으로 구성하였다. 먼저 신경회로망의 목표 출력값( $t_{pj}$ )과 출력값( $o_{pj}$ )과의 오차함수는 식 (15)와 같이 표현된다[17].

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (t_{pj} - o_{pj})^2 \quad (15)$$

여기서,  $E_p$  ;  $p$  패턴에 대한 오차함수,  $t_{pj}$  ; 입력패턴  $p$ 에 대한  $j$ 번째 출력패턴의 목표 출력값,  $o_{pj}$  ; 입력패턴  $p$ 에 대한  $j$ 번째 출력패턴의 출력값.

전방향 신경회로망(Feedforward Neural Network)의 계산은 식 (16)으로 계산된다.

$$\begin{aligned} o_{pj} &= f_j(\text{net}_{pj}) \\ \text{net}_{pj} &= \sum_k w_{jk} o_{pk} \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,  $f_j$  ; 시그모이드 함수,  $w_{jk}$  ; 연결강도. 시그모이드 함수  $f_j$  는 본 논문에서는 식 (17)과 같이 정의하였다.

$$f(\text{net}_{pj}) = \frac{2}{1 + \exp(-\text{net}_{pj})} - 1 \quad (17)$$

또한, 연결강도의 갱신은 최대경사법(Gradient Method)을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$-\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}} = \delta_{pj} o_{pj} \propto \Delta_p w_{ji} \quad (18)$$

여기서 출력층(Output Layer)과 은닉층(Hidden Layer)의 갱신규칙은 다음 식 (19)로 각각 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta_j &= (t_j - o_j) f_j'(\text{net}_j) \\ \delta_j &= f_j'(\text{net}_j) \sum_k \delta_k w_{kj} \end{aligned} \quad (19)$$

여기서,  $f_j'$  ;  $f_j$  의 도함수. 연결강도(Weight ;  $w_{ji}$ )의 갱신은 식 (20)에 따라 갱신된다.

$$\Delta_p w_{ji}(n+1) = \zeta \cdot \delta_{pj} o_{pj} + \beta \Delta_p w_{ji}(n) \quad (20)$$

여기서,  $n$  ; 학습횟수,  $\zeta$  ; 학습률 파라미터,  $\beta$  ; 모멘텀 상수.  $\beta$ 는 오차진동을 줄이고 수렴속도를 빠르게 하기 위하여 부가된 상수이다.

### 5. 사례연구

본 논문에서 제안한 확산모형의 타당성을 검증하기 위하여 현재 시행중인 고효율조명기기 보조금제도의 실적자료를 기초로 사례연구를 수행하였다. 고효율조명기기 보조금제도를 통한 안정기 보급대수 및 누적보급대수의 실적은 그림 2와 같다. 또한 시장가격의 영향분석 위하여 1994~2001까지 통계청의 조명기기 소비자 물가지수(CPI : Consumer Price Index)값을 보조금 수준이 고려된 식 (8)에 대입하여 가격변화에 대한 입력자료로 사용하였고, 미래의 가격과 공급규모의 변화는 적당한 함수로 곡선적합(Curve Fitting)하여 적용하였다. 디플레이트된 조명기기의 가격변화는 그림 3과 같다.

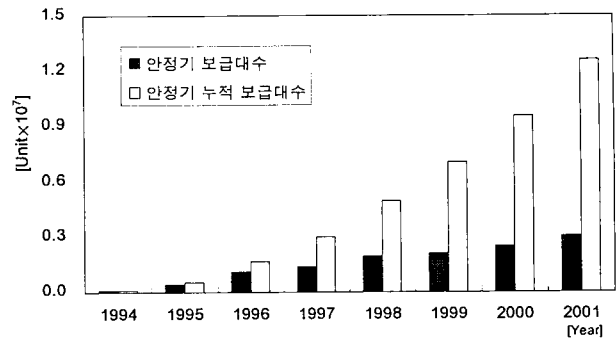


그림 2 고효율조명기기 보조금 지원실적  
Fig. 2 Rebate Program Supporting Results of High-Efficiency Lighting Appliance

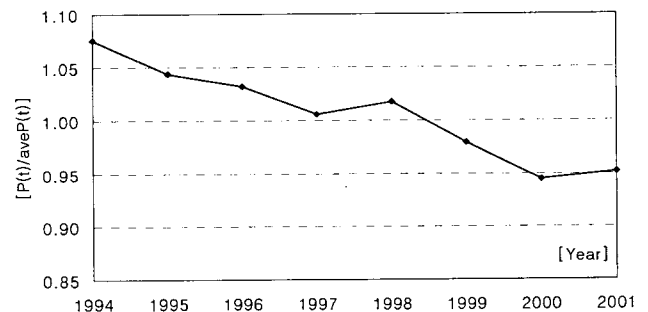


그림 3 조명기기 가격변화  
Fig. 3 Deflated Price for Lighting Appliance

고효율안정기의 보급실적과 시장가격 변화를 입력자료로 하여 각 확산모형의 확산계수를 추정하였다. 보급실적 자료의 연도별 공급규모( $m(t)$ )는 보급대수( $n(t)$ )와 같은 수치를 입력 데이터로 하였다. 확산계수의 추정방법은 SAS 프로그램에서 제공하는 최소자승(OLS)방법[13]을 사용하여 비선형 최소자승(NLS)방법의 초기값으로 사용하였다. 또한, 제안한 신경회로망 계수추정은 최소자승(OLS) 방법으로 추정된 계수를 중심으로 3,125개의 학습데이터를 생성하여 각 계수를 확산모형에 대입하여 추정된 값( $z(t)$ )을 신경망의 입력데이터로 활용하였다. 신경회로망의 구성은 8개 노드의 입력층과 36개 노드의 은닉층 5개 노드의 출력층으로 구성하였으며 목표값과의 오차범위는  $10^{-3}$ 으로 하였다. 다음은 제안한 확산모형과 추정방법을 통하여 추정한 결과를 나타내었다.

표 1 확산계수(Parameter) 추정 결과

Table 1 Diffusion Parameter Estimation Results

추정 방법	M (10 <sup>6</sup> )	p (10 <sup>-3</sup> )	q1	q2	$\eta$
OLS	1.148	2.320	0.767399	0.18071	3.254
NLS	1.146	2.324	0.767394	0.18075	3.252
NNPE	1.134	2.201	0.758229	0.17834	3.217

각 추정 방법에 대한 계수추정 결과는 표 1과 같으며, 신청자에 대한 모방계수(q1)가 채택자에 의한 모방계수(q2) 보다 크게 나타났으며, 이는 신청자에 의한 구전의 영향이 기존 채택자들 보다 영향력이 있는 것으로 추정된다. 또한 가격탄력성을 나타내는  $\eta$  값이 모두 1 이상의 값으로 가격이 수요에 매우 민감한(탄력적) 것으로 나타났다. 즉, 보조금 수준을 통하여 고효율기기의 보급촉진을 유도할 때에 소비자들의 반응이 매우 민감하게 작용하는 것으로 판단되므로 향후 보조금 지원정책 수립 시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 보인다. 또한 신청자에 대한 모방계수(q1)가 양의 값으로 현재의 지원 규모 수준으로 인한 대기자가 매년 발생하는 것으로 추정되므로 향후 지원규모에 대한 확대가 고려될 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시한 계수 추정방법의 결과는 표 2와 그림 4에 나타내었다. 표 2는 새로운 신청대수( $z(t)$ )에 대하여 일반적으로 추정성능을 판단하는 통계값인 절대평균편차(MAD : Mean Absolute Deviation)와 자승평균오차(MSE : Mean Squared Error)를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 결과에서 NLS와 OLS 방법에 비해 본 논문에서 제안한 NNPE 결과가 우수함을 알 수 있다. 그러나, NLS 방법의 결과가 OLS방법에 비해 추정성능이 저조하게 나타났으나, 이는 추정을 위한 실적 데이터량이 적음에 기인한 것으로 판단된다. 또한 그림 3에서도  $ols\_z(t)$ 와  $nls\_z(t)$ 가 거의 유사한 추정곡선이 나타나고 있다.

표 2 확산모형에 대한 적합 통계

Table 2 Fit Statistics for Diffusion Model

추정 방법	Mean Absolute Deviation		Mean Squared Error	
	$z(t)$	$n(t)$	$z(t) \times 10^{10}$	$n(t) \times 10^{10}$
OLS	186,115	159,555	4.372	3.808
NLS	186,171	159,607	4.375	3.810
NNPE	108,837	101,838	1.677	1.638

보조금 지원조건을 고려한 고효율기기의  $t$ 년도의 보급형태와 누적 보급형태는 추정된 계수를 제안한 확산모형에 대입한 결과로 그림 4-5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 여기서  $N(t)$ 는 누적채택자,  $Cm(t)$ 는 누적 지원규모 그리고  $CA(t)$ 는 누적 신청자를 나타낸 것이다. 그림 5는 표 1의 추정결과와 마찬가지로 공급제약( $m(t)$ )으로 작용하는  $t$ 년도의 지원

규모(예산)는 신청자( $A(t)$ ) 모두를 수용하지 못하고 고효율기기의 보급을 제한하게 되므로 향후의 보조금 지원규모(예산)에 대한 고려가 필요할 것으로 예측되고 있다.

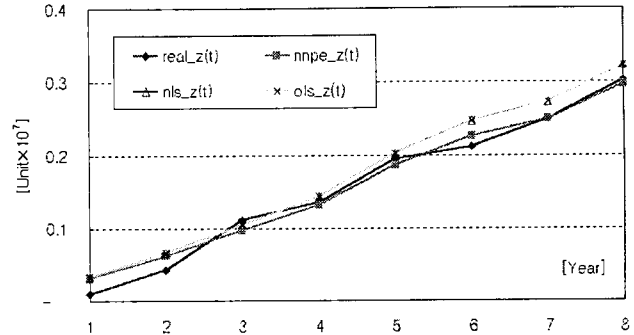


그림 3 새로운 신청대수 추정결과

Fig. 3 Actual, NNPE, NLS and OLS Fitted Number of New Applicants

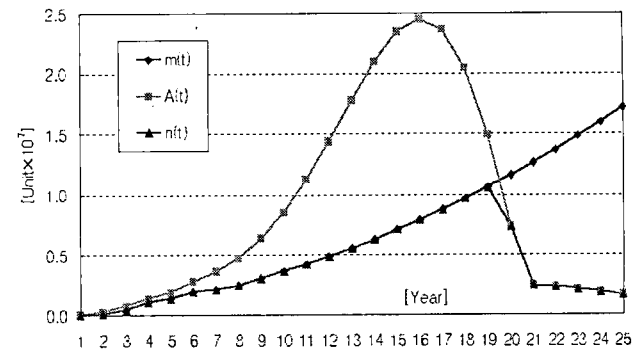


그림 4 보조금 지원조건을 고려한 확산형태

Fig. 4 Diffusion Patterns Considering Rebate Program's Support Conditions

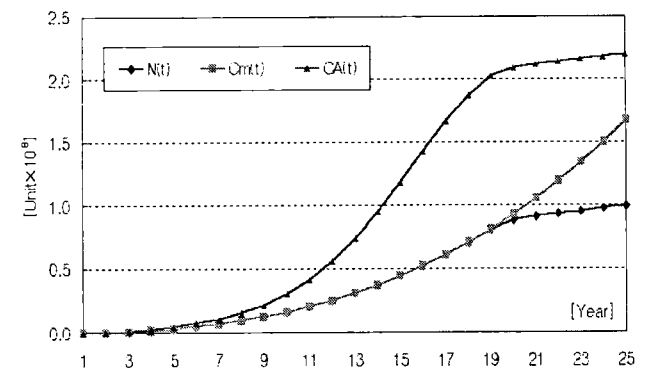


그림 5 보조금 지원조건을 고려한 누적확산형태

Fig. 5 Cumulative Diffusion Patterns Considering Rebate Program's Support Conditions

그림 6은 공급제약으로 작용하는 지원규모가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우를 비교하여 나타낸 것으로 현재의 지원규모의 성장형태로 지원이 계속 이루어질 경우 고효율기기의 보급속도가 지원규모를 고려하지 않은 경우보다 늦은 성장결과를 보여주고 있다. 또한, 그림 4-5와 같이 신청자료를 모두 수용하지 못하는 결과를 초래하므로 적당한 지원규모를 계획하므로 보급속도와 보급대수를 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

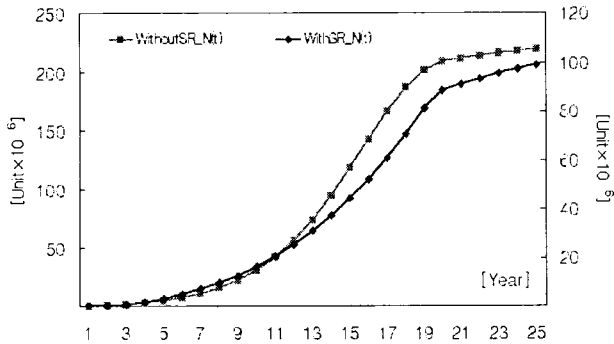


그림 6 공급제약 유무에 따른 누적확산형태  
 Fig. 6 Cumulative Diffusion Patterns by Supply Restriction (SR) With and Without

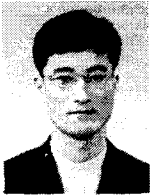
### 6. 결 론

본 논문은 고효율기기 보조금 지원제도상에 존재하는 지원조건으로 지원대상, 지원규모 및 지원수준이 고려된 고효율기기에 대한 새로운 확산모형을 제안하였다. 또한 확산모형 연구에 수반되는 계수추정 방법으로 신경회로망을 이용함으로써 기존방법의 단점을 보완한 새로운 계수추정 방법을 제안하였다. 보조금 지원제도는 효율향상을 위한 전력수요관리에 대부분 실시되고 있지만, 현재 우리나라에서는 보조금 지원제도의 도입이 초기단계이므로 고효율기기의 보급을 예측하기 위한 모형이 구축되어있지 않은 실정이다. 따라서 본 논문은 보조금 지원조건을 고려한 확산 모형을 제안하였으며, 이를 현재 시행중인 고효율조명기기의 실적자료에 적용한 결과 현재의 고효율 조명기기에 대한 지원금 수준이 소비자 유인에 매우 민감한(탄력적)것으로 추정되었다. 또한 연간예산 규모인 공급제약은 기기보급을 완화시키는 역할을 하고 있어 대기 소비자를 발생시키고 있음을 알 수 있었다. 그리고 제안한 계수추정방법은 기존의 추정방법에 비해 추정정능이 우수한 것으로 나타났다. 본 논문에서 제안한 확산모형과 계수추정방법은 향후 보조금 지원제도의 지원조건인 지원대상, 연간예산규모 그리고 지원금 적정수준을 고려할 때 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 보조금 지원제도를 통한 효율향상 수요관리제도의 성과계량 및 비용효과분석에 적용 가능할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Bass, F.M. "A New Product Growth Model for Consumer Durables," *Management Science*, 15, 215-227, 1969.
- [2] Dipak C. Jain, Ram C. Rao "Effect of Price on the Demand for Durables : Modeling, Estimation, and Findings," *Jornal of Business & Economic Statistics*, Vol.8, No.2, 160-170, April 1990.
- [3] Shlomo Kalish, "A New Product Adoption Model with Price, Advertising, and Uncertainty," *Management Science*, Vol.31, No.12, December 1985.
- [4] Robinson, B., and Lakhani, G. "Dynamic Price Models for New-Product Planning," *Management Science*, 21, 1113-1122, 1975.
- [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, 281-295, 1995.
- [6] Towhidul Islam, Denzil G. Fiebig "Modelling the Development of Supply-restricted Telecommunications Markets", *Journal of Forecasting*, V.20, pp.249~264, 2001.
- [7] Jain D, Mahajan V, Muller E. "Innovation Diffusion in the Presence of Supply restrictions". *Marketing Science* V10. pp. 83-90, 1991
- [8] Kim Jung-Hoon, Chang Seungchan, Hwang Sung-Wook, Kim Balho, Kim Chang-Seob, "Development of Demand Side Management(DSM) Monitoring Methodology Considering the Diffusion Process of High Efficient End-Use appliances", *ICEE98 Proceeding*, Vol. 1, pp. 115-118, 1998.7
- [9] Srinivasan, V., and Mason, C.H. "Nonlinear Least Squares Estimation of New Product Diffusion Models," *Marketing Science*, 5, 169-178, 1986.
- [10] Schmittlein, D.C., and Mahajan, V. "Maximum Likelihood Estimation for an Innovation Diffusion Model of New Product Acceptance," *Marketing Science*, 1, 57-78, 1982.
- [11] Jinhong Xie, X.Michael Song, Marvin Sirbu, and Qiong Wang, "Kalman Filter Estimation of New Product Diffusion Models," *Journal of Marketing Research*, Vol.34, pp.378-383, August 1997.
- [12] 김진오, 최청훈, 김정훈, 이창호, 김창섭, "DSM 모니터링을 위한 확산 모형의 계수 추정", *전기학회논문지 48A권 10호*, 1999.10
- [13] SAS Institute Inc., *SAS/ETS User's Guide*, Version 8.2 Edition, SAS Institute, Inc., Cary, NC, 2001.
- [14] 에너지관리공단., *DSM 성과계량 및 비용효과분석 연구 최종 보고서*, pp.9~34, 2000.
- [15] 한국전력공사, *구조개편 이후의 수요관리 적정투자규모 및 정부차원의 평가방안에 관한 연구 최종보고서*, pp.205~218, 2001.
- [16] 에너지관리공단, *직접부하제어 사업 활성화를 위한 적정 지원금 산정방안 연구 최종보고서*, pp.287~327, 2002.
- [17] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton and R. J. Willams, *Learning internal representations by error propagation*, *Parallel Distributed Processing*, vol. 1, pp. 318-362, Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

저 자 소 개



**김 회 철 (金 會 喆)**

1967년 8월 22일생. 1993년 건국대학교 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 에너지관리공단 전력수요관리팀. Tel. : 031-260-4459, Fax. : 031-260-4459, E-mail : hoking@kemco.or.kr.



**신 중 린 (愼 重 麟)**

1949년 9월 22일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 교수. Tel : 02-450-3487 E-mail : jrshin@konkuk.ac.kr



**이 정 규 (李 正 奎)**

1976년 3월 21일생. 2000년 건국대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. Tel.: 02-458-4778, Fax : 02-447-9186 E-mail : aikk@konkuk.ac.kr.



**박 중 배 (朴 宗 培)**

1963년 11월 24일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 교수. Tel : 02-450-3483 E-mail : jbaepark@konkuk.ac.kr