

# 고효율기기의 수요자측 입찰을 고려한 수요관리 모니터링 시스템

論 文  
54A-11-7

## Demand-Side Management Monitoring System of High Efficient End-Use Equipments Considering the Demand-Side Bidding

沈 建 輔\* · 元 鍾 律† · 金 正 勳\*\*  
(Keon-Bo Shim · Jong-Ryul Won · Jung-Hoon Kim)

**Abstract** - This paper proposes the demand-side management(DSM) monitoring system of high efficient end-use equipments considering demand-side bidding (DSB). The effect on the market penetration of high efficient equipments by demand side bidding is analysed. Seasonal peak demand forecasting and penetration capacity of these equipments are analysed.

**Key Words** : Monitoring System, Demand-Side Management, Energy Efficient Equipment, Demand-Side Bidding

### 1. 서 론

최근에 전력산업의 구조개편이 진행되면서 에너지원의 많은 부분을 외국에 의존하고 있는 국내의 실정에서 볼 때, 제한된 에너지자원의 합리적인 이용을 목적으로 국가적인 관점에서 전력 수요관리(DSM, Demand Side Management)의 필요성이 크게 부각되고 있다. 또한, 경쟁적 전력시장하에서 기존의 DSM과는 다른 각도에서의 DSM 프로그램이 도입되고 있다. 이러한 방법 중의 하나가 수요자측 입찰(DSB ; Demand Side Bidding)이라는 방법으로써, 대형 산업용 수요자 등이 사전계약 등에 의하여 계통 운영자의 지시, 수요감소 입찰 또는 시장가격 신호에 따라 부하의 사용 시간대를 변경하거나 부하의 크기를 줄여서 계통의 첨두부하를 줄이고, 부하가 낮은 다른 시간대에서 부하를 복구하여 사용하는 방법이다. 이러한 시장환경 하에서는 부하의 크기를 줄이는데 대한 다양한 형태의 재정적 지원이 주어지게 되는 것이다.

우리나라와 같이 에너지자원이 부족한 나라에서는 이러한 수요평준화 개념뿐만 아니라, 에너지 소비절약이라고도 일컬어지는 고효율 기기의 보급에도 많은 관심을 가져야 한다. 고효율기기는 전체적인 부하량을 줄여나가며, 한번 보급되면 계속 에너지를 절감할 수 있으므로, 반드시 부하를 차단하여야 하는 불편도 적어지게 된다. 또한 기술개발로 인한 기기 수출효과 및 다양한 효과가 있으므로 국가적으로는 커다란 이익이 될 수 있다. 그러나 대부분 기기의 가격이 비싸고 그 효과가 가시적으로 보이지 않기 때문에 현재의 시장체제에서는 그 효용성이 과소평가될 수도 있다.

본 논문에서는 수요관리 관점에서 수요자측 입찰에 의한

재정적 지원이 수요자측의 부하를 고효율 기기로 교체한다는 가정 하에서 전력수요관리 프로그램의 영향평가 방법인 모니터링 시스템(Monitoring System)에 수요자측 입찰을 고려하여, 특정 시점에서 고효율 기기의 투입이 이후에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

### 2. 전력시장 환경하에서의 DSM

#### 2.1 DSB와 전력가격

전력산업에 구조개편이 시작되고, 경쟁적 전력시장이 도입됨에 따라 기존의 전력 수요관리(DSM)라는 개념도 변화하고 있다. DSM은 전통적으로 공급측 자원이라고 일컬어졌던 발전사업자들로부터의 시장지배력을 약화시키고, 비상시에 계통수급의 균형을 위한 하나의 좋은 대안으로 각광받고 있다. 또한 전력시장에서의 급격한 전력가격 상승을 억제시켜, 신뢰도 위험(Reliability Risk) 및 재정적 위험(Financial Risk)을 감소시키는 방법으로 새롭게 떠오르고 있다. 이러한 새로운 방법은 영국에서는 수요자측 입찰(DSB)이라는 방법 [1,2]으로 이미 부분적으로 시작되고 있으며, 미국을 중심으로는 수요응답(Demand Response)라고 불리며 다양한 방법으로 시도되고 있다.

첨두부하 시간대에 수요자측 입찰(DSB)[7]에 의하여 부하가 차단되면 연료비가 비싼 발전기는 운전을 하지 않아도 되어 전체 계통의 총 운전비는 줄어들게 되므로 공급자측 입장에서는 이득이 된다. 한편 소비자측 입장에서는 부하를 차단하였으므로 손실이 발생하게 된다. 따라서 소비자측 입장에서 DSB에 참여하여 발생하는 손실에 대한 보상이 있어야 한다. 이 때, 소비자측 입장에서 보상받는 이득과 입찰 부하 크기와 관계를 DSB로 인한 전력가격으로 정의할 수 있다[2].

#### 2.2 전력가격과 부하 크기의 관계

부하기기의 가격변화는 부하기기의 보급상태를 다르게 하여 전체 부하곡선에 대한 변화를 가져오게 된다. 또한, 전력

† 교신저자, 正會員 : 安養大學校 電氣電子工學科 助教授 · 工博  
E-mail : jrwon@aycc.anyang.ac.kr

\* 正會員 : 弘益大學校 電子電氣工學部 研究員 · 工博

\*\* 正會員 : 弘益大學校 電子電氣工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 5月 31日

最終完了 : 2005年 9月 24日

가격도 부하와의 상관관계가 있음을 알 수 있다[3]. 부하기기의 가격이 같고, DSB에 의하여 전력의 가격이 바뀌었다면, 부하의 크기도 변하게 된다. 이 때 DSB에 의한 부하의 변화  $\Delta L$ 을 얻기 위한 방안으로써, 2종류의 고효율 기기를 도입하는 것으로 가정한다. 이 때 각각의 고효율기기에 의한 부하 크기의 변화분  $\Delta L_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta L_1 &= C_1 \cdot (b_0 + b_1x + b_2x^2) \\ \Delta L_2 &= C_2 \cdot (b_0 + b_1x + b_2x^2) \end{aligned} \quad (1)$$

따라서 DSB를 시행하기 전과 후의 부하의 변화  $\Delta L$ 은 다음과 같다.

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (2)$$

### 3. DSM 모니터링 시스템

#### 3.1. DSM 모니터링 시스템의 개념

DSM 프로그램의 평가를 위하여 DSM 프로그램 시행 이전과 이후의 에너지 변동을 추정하는 이론적 성과 계량과 실질적인 조사를 통한 실제적 계량을 포함하는 개념이 DSM 모니터링 시스템(Monitoring System)이다[4].

#### 3.2 DSB의 고려

DSM 모니터링 시스템에서 DSB를 고려하기 위하여 DSB를 처음 실시하는 시점의 입찰 전력을 모두 고효율 기기로 교체한다는 가정 하에 고효율 부하기기의 보급률이 바뀌게 되는데, 이러한 현상을 보급률 추정을 위한 확산 모형에 반영하게 된다.

계절적 요인에 의해 부하구성비 자체에 큰 변동이 없는 기기를 고효율 기기로 채택하는 경우를 고려할 수 있는데, 고효율 기기로 채택하는 전력수요관리 프로그램의 경우 고려대상인 s 계절에서의 첨두부하시 기기 i의 부하  $P_{peak,s}^i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$P_{peak,s}^i = P_{1,s}^i + P_{2,s}^i + P_{3,s}^i \quad (5)$$

$P_{1,s}^i$ ,  $P_{2,s}^i$ 은 고효율기기의 보급에 의해서 영향을 받는 부분이며,  $P_{3,s}^i$ 는 고효율 기기 보급에 영향을 받지 않는 부하로써 상수로 취급 가능하다.

$$P_{1,s}^i = RC_s \cdot RLF \cdot CF \cdot DF \quad (6)$$

기기 중 고효율 기기로 이미 채택된 부하에서의 전력인  $P_{2,s}^i$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{2,s}^i = \eta \cdot AC_s \cdot RLF \cdot CF \cdot DF \quad (7)$$

#### 3.3 DSB를 고려한 보급률 확산모형의 변경

고효율 기기 보급률을 추정하는 데에 있어서는 채택방법에 따라 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 고효율 기기가 새로 채택하여지는 신규 보급용량(New Adoption; NA). 둘째

기존기기의 수명이 다 되어 고효율 기기로 교체를 위해 채택되어지는 교체용량(Substitute Adoption; SA), 마지막으로 기존기기의 수명이 다 되지 않았음에도 불구하고 고효율 기기로 대체하기 위해 채택되어지는 대체용량(Alternative Adoption; AA)으로서 표현할 수 있다. 단, DSB를 고려하는 경우에 신규 보급용량, 교체용량 및 대체용량의 변화는 DSB가 시행되는 시점에서만 변화가 있는 것으로 가정한다.

s계절에서의 고효율 기기 i에 대한 보급용량을 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} Dr_s &= NA_s + SA_s + AA_s \quad s \neq DSB \text{ 시행초기} \\ Dr_s &= NA_s + \Delta NA_s + SA_s + \Delta SA_s \\ &\quad + AA_s + \Delta AA_s \quad s = DSB \text{ 시행초기} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{단, } \Delta L_i = \Delta NA_s + \Delta SA_s + \Delta AA_s$$

$$NA_s + \Delta NS_b = (FC - RC_0)$$

$$\int_s^{s+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (9)$$

$$SA_s + \Delta SA_b = (\Delta RC_s + \frac{\Delta AC_s}{\eta}) \int_s^{s+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (10)$$

$$\text{단, } \Delta RC_s = RC_{s-l} - RC_{(s-1)-l}$$

$$\Delta AC_s = AC_{s-l} - AC_{(s-1)-l}$$

$$\begin{aligned} AA_s + \Delta AA_b &= \sum_{i=1}^{l-1} (\Delta RC_{s-i} + \frac{\Delta AC_{s-i}}{\eta}) \cdot \\ &\int_s^{s+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} dt \end{aligned} \quad (11)$$

s 계절에 고효율 기기로 채택이 가능한 보급용량  $Dr_s$ 와 기존 기기의 자연증가율  $Ni_s$ 가 고려된 총 보급용량은 다음과 같다.

$$RC_{s+1} = RC_s - Dr_s + Ni_s \cdot RC_s \quad (12)$$

또한, 이미 고효율 기기로 채택된 기기의 용량  $AC_s$ 도 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$AC_{s+1} = AC_s + \eta \cdot Dr_s \quad (13)$$

### 4. 사례 연구

본 연구에서 제안하는 수요자측 입찰을 고려한 고효율기기의 모니터링 시스템을 개발하고, 수요자측 입찰의 여부에 따른 고효율 기기의 보급 확산 및 절전 잠재량의 변화에 대한 차이를 비교하였다. DSM 대상의 고효율기기는 고효율 형광등과 유도전동기를 대상으로 하였으며, DSM 모니터링을 위한 대상 기기별 입력자료는 표 1과 같다.

DSB에 의한 각각의 고효율 기기에 대한 부하의 크기를 식 (1)의 2차식으로부터 구하면, 고효율 형광등 350[MW], 유도전동기 420[MW]가 되고, 이 조건에 대하여 개발된 DSM

모니터링 시스템을 이용하여 5년간(20계절)에 대하여 검토하였다. DSB는 5번째 계절에서 시행하는 것으로 가정하였다.

표 1 DSM 대상기기별 입력자료

Table 1 Input data for each DSM equipment.

	고효율 형광등	유도 전동기
$RC_0$ [MW]	4,291	26,724
$RLF$	0.92	0.65
$CF$	0.74	0.92
$DF$	0.98	0.69
$FC$ [MW]	9,100	58,387
$\eta$ [%]	20	5
$l$ [yr]	1	15
$Ni_s$ [%]	2.5	2.7
$p$	0.04	0.027
$q$	0.5	0.53

4.1 계절별 최대부하 예측

DSM 대상기기에 대한 DSB 시행 여부에 따른 계절별 최대부하 예측 결과는 표 2와 같으며, 각각의 대상기기에 대한 예측결과와의 비교는 그림 1과 2에 보였다.

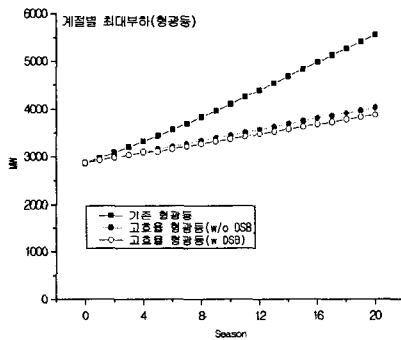


그림 1. 고효율 형광등의 계절별 최대부하 비교  
Fig. 1 Comparison of seasonal maximum load for high efficient fluorescent lamp

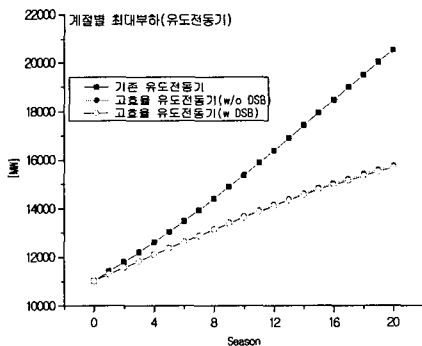


그림 2. 유도 전동기의 계절별 최대부하 비교  
Fig. 2. Comparison of seasonal maximum load for high efficient induction motor

표 2 DSB를 고려한 계절별 최대부하(고효율 형광등)

Table 2 Seasonal maximum load considering DSM (high efficient fluorescent lamp)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DSB 이전	2920.85	2977.48	3032.53	3094.56	3146.63	3207.14	3267.28	3326.99	3386.22	3444.95
DSB 이후	2920.85	2977.48	3032.53	3094.56	3099.93	3154.59	3208.79	3262.34	3315.28	3367.58
DSB 이전	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DSB 이전	3503.31	3561.31	3619.03	3676.55	3733.94	3791.34	3848.89	3906.77	3965.14	4024.20
DSB 이후	3419.29	3470.41	3520.97	3571.02	3620.64	3669.97	3719.15	3768.31	3817.65	3867.33

표 2와 그림 1, 2에서 보는 바와 같이 DSB의 시행에 따라 최대부하의 크기가 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 DSB의 시행으로 고효율 기기의 보급이 증가하여 그 효과가 나타나는 것임을 알 수 있다.

4.2 DSM 대상기기의 보급량 비교

DSM 대상기기 중에서 고효율 형광등과 유도전동기의 보급용량에 대한 사례연구를 수행한 결과를 그림 3과 4에 각각 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 DSB를 시행하기 이전과 이후의 결과에서 DSB가 시행된 계절에 보급 용량의 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

각 대상기기에서 누적 보급용량이 대상기간 내에서 포화되지 않고 있음을 볼 수 있다.

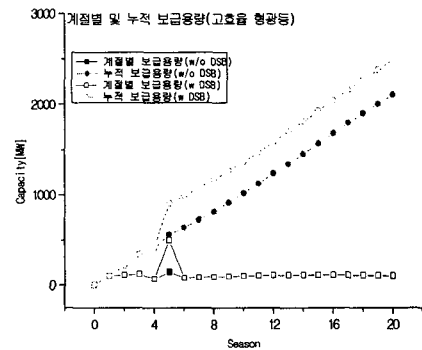


그림 3. 고효율 형광등의 계절별 보급용량  
Fig. 3. Seasonal penetration capacity for high efficient fluorescent lamp

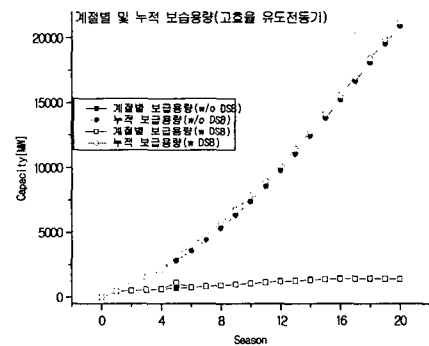


그림 4. 유도 전동기의 계절별 보급용량  
Fig. 4 Seasonal penetration capacity for induction motor

찰이 최대부하 및 고효율 기기의 보급에 대하여 미치는 영향을 평가할 수 있으며, 결국 수요자측 입찰의 영향에 의하여 최대전력의 크기가 감소하고, 고효율 기기의 보급이 증가한다는 결과를 얻을 수 있다.

**5. 결론 및 검토**

본 논문에서는 전력수요관리의 관점에서 수요자측 입찰(DSB)에 의한 수요자측에 제공되는 재정적 지원을 수요자측이 모두 고효율기기로 교체한다는 조건에서 전력수요관리의 영향 평가방법인 모니터링 시스템을 수요자측 입찰을 고려하여 개발하였다. 고효율 기기의 시장 보급특성에서 수요자측 입찰이 미치는 영향을 최대부하 예측과 고효율 기기의 보급 용량에 대하여 평가하였으며, 수요자측 입찰의 영향에 의하여 최대전력의 크기가 감소하고, 고효율 기기의 보급이 증가한다는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 경쟁체제의 전력시장에서 수요자측 입찰이 전력수요관리 정책에 미치는 영향에 대한 좀 더 심도 깊은 검토가 필요할 것으로 사료된다.

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(02-중-09)주관으로 수행된 과제임

**참 고 문 헌**

- [1] G. Strbac, E. D. Farmer, B. J. Cory, "Framework for the incorporation of demand-side bidding in a competitive electricity market", IEE Proc-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No. 3, pp. 232~237, 1996.
- [2] Goran Strbac, Daniel Kirschen, "Assessing the Competitiveness of Demand-Side Bidding", IEEE Trans. PWRs, Vol. 14, no. 1, pp. 120~125, 1999.
- [3] 산업자원부, 전력산업 경쟁도입에 따른 요금변화에 대한 부하모델 수립 및 DSM 프로그램에 미치는 영향 평가에 관한 연구, 2002. 10.
- [4] 산업자원부, DSM 잠재량 평가와 모니터링을 위한 기법 개발 및 활용방안 연구, 1998. 10.
- [5] 한국전력공사, "전동기 보급 실태조사", 1994.8
- [6] 한국전력공사, "조명 기기 보급 실태조사", 1994.8.
- [7] 원종률, 김정훈, "고효율기기의 수요측입찰 참여시의 비용-이익 분석", 대한전기학회 논문지, 54A권, 제8호, pp.396-400, 2005. 8.

[기호 설명]

- $P_{1,s}^i$  : 고효율 기기로 채택 가능한 부하전력
- $P_{2,s}^i$  : 고효율 기기로 이미 채택된 부하전력
- $P_{3,s}^i$  : 고효율 기기로 채택 불가능한 부하전력
- RLF : 기기의 정격 부하율
- CF : 일치율(Coincidency Factor)

- DF : 부등률(Demand Factor)
- $\eta$  : 고효율 기기에 사용에 따른 절감효율
- FC : 최종 연도에서의 고효율기기 수요예측치
- $RC_0$  : 초기의 고효율기기로 채택 가능 용량
- $\Delta NS_b$  : DSB 시행초기의 신규보급용량 변화분
- $l$  : 기기의 수명
- $AC_s$  : s 계열 기기중 이미 고효율로 채택된 용량
- $\Delta SA_b$  : DSB 시행초기의 교체용량 변화분
- $\Delta AA_b$  : DSB 시행초기의 대체용량 변화분
- $Ni_s$  : s 계열에 고효율기기의 자연증가율
- $p$  : 혁신계수
- $q$  : 모방계수

**저 자 소 개**



**심 건 보(沈 建 輔)**

1957년 2월 1일생. 1980년 홍익대학교 전기공학과 졸업(학사). 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 홍익대학교 과학기술연구소 연구원.



**원 종 른(元 鍾 律)**

1969년 7월 21일생. 1993년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1995년 서울대학교 전기공학부 졸업(석사). 1998년 서울대학교 전기공학부 졸업(박사). 1998년~2001년 한전전력연구원 선임연구원. 2002년~현재 안양대학교 전기전자공학과 교수



**김 정 훈(金 正 勳)**

1978년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~1989년 미국 Penn State Univ. 방문교수. 현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수. 현재 대한전기학회 홍보이사, 평의원 및 용어위원회 위원장.