

## Cost-Benefit Analysis on Participation of High Efficient Equipment in Demand-Side Bidding

元 鍾 律<sup>†</sup> · 金 正 勳<sup>\*</sup>  
(Jong-Ryul Won , Jung-Hoon Kim)

**Abstract** - This paper proposes the cost analysis on the energy efficient equipment when this equipment is participated in the demand-side bidding. Conventional demand-side bidding is exercised through load re-distribution. However if this load reduction is exercised by the use of high efficient equipment, its effect will be assumed to be more economical. This paper analyses this cost-benefit effect of high efficient equipment in the demand-side bidding.

**Key Words** : Demand-Side Management, Energy Efficient Equipment, Demand-Side Bidding, Load Re-distribution

### 1. 서 론

경쟁시장의 도입에 따라 기존의 수요관리(Demand-Side Management)라는 개념도 변화여가고 있다. 경쟁시장에서 사업자들의 가장 큰 목표는 수익극대화를 통한 이윤창출 및 비용절감이다. 따라서 수요관리도 각 시장참여자들이 각기 자신의 수익극대화를 위해 다양한 프로그램이 운영될 것이며 과거의 정부주도형에서 시장주도형으로 변환되어 나갈 것이다. 이러한 경쟁시장에서의 수요관리의 실행은 전통적으로 공급측 자원이라고 일컬어졌던 발전사업자들로부터의 시장지배력(Market Power)을 약화시키고, 비상시에 계통수급의 균형을 위한 하나의 좋은 대안으로 각광받고 있다. 또한 전력시장에서 급격한 전력가격의 상승을 억제시키는 효과도 가져온다. 따라서 이는 신뢰도 위험(Reliability Risk) 및 재정적 위험(Financial Risk)을 감소시키는 방법으로 새롭게 떠오르고 있다[3-4].

특히 최근 들어 영국으로부터 시작하여 공급측자원에 대하여 수요측자원도 전력시장입찰에 참여하는 수요측 입찰(Demand-side bidding)이라는 기회를 열어주고 있다. 기존의 수요측입찰은 전력소비자가 최대부하시의 전력사용량을 줄여서 다른 시간대로 전력수요를 이동시키는 수요의 변화를 통해, 자신의 전력감소분을 전력시장 입찰에 참여하도록 하고 있다. 따라서 에너지 절감효과 및 입찰로부터 얻는 이득도 발생하게 된다. 그러나 이 때의 수요감소 방법은 부하관리로부터 파생되는 수요재분배를 통한 방법이 대부분이다. 이는 단기적인 효과를 얻는 데에는 효과적이지만 국가 전체적으로 큰 이득을 얻는 데에는 비효율적이다. 우리 나라와 같이 에

너지자원이 부족한 나라에서는 수요재분배를 통한 수요평준화 개념뿐만 아니라, 에너지 소비절약이라고도 일컬어지는 고효율 기기의 보급에도 많은 관심을 가져야 한다.

따라서 본 논문에서는 기존의 수요재분배를 통한 수요측 입찰 방법 이외에 고효율기기를 사용하여 발생하는 전력감소량을 입찰한다고 가정하고, 이의 수요자측 입장에서의 비용효과를 간략하게 분석하고자 한다.

### 2. 수요측 입찰제도

영국에서는 수요측 입찰이 이미 부분적으로 시작되고 있으며, 미국을 중심으로는 수요응답(Demand Response)라고 불리며 다양한 방법으로 시도되고 있다. 이러한 방법은 대부분 기존의 부하관리(Load Management)의 개념이 확장된 것이다. 즉, 사전계약에 따른 사업자 또는 계통운영자의 지시, 수요감소 입찰 또는 시장가격신호에 의해, 부하의 사용시간대를 변경하거나 생산을 재분배하여 피크시간대의 부하를 줄이고, 기저시간대에 다시 복구(Recovery)하는 방식으로 사용되고 있다. 당연히 이러한 수요감소에 상응하는 다양한 재정적인 혜택이 주어지고 있다. 따라서 이러한 모든 방법은 수요를 평준화시켜 발전설비의 운영효율을 증가시키고, 발전설비의 건설을 지연시킬 뿐만 아니라, 환경오염 방지에도 중요한 역할을 하고 있다.

그러나 우리나라와 같이 에너지자원이 없어 전량 수입에 의존하여야 하는 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 있으며, 반드시 부하를 차단하여야 하는 불편도 적어지게 된다. 또한 기술개발로 인한 기기수출효과 및 다양한 효과가 있으므로 국가적으로는 커다란 이익이 될 수 있다. 그러나 대부분 기기의 가격이 비싸고 그 효과가 가시적으로 보이지

† 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 教授 · 工博  
接受日字 : 2005年 5月 31日  
最終完了 : 2005年 6月 24日

않기 때문에 현재의 시장체제에서는 그 효율성이 과소평가될 수도 있다.

수직 분리된 경쟁적인 전력시장에서 전력소비자의 수요량을 잠정적으로 감소할 수 있는 능력을 전력시장에서 입찰의 기회로 제공할 수가 있다. 즉, 전력소비자가 자신의 소비를 줄여서 그 수요량을 입찰하는 수요측입찰의 형태로 나타나게 된다. 영국의 England와 Wales에서의 전력 풀 시장에서는 수요측 입찰을 채용함으로써 전력시장에 전력소비자가 참여하고 있다. 기존의 발전력에 대응하여 부하감소가능용량의 증가로 발전력으로 증가하여 전력시장의 입찰에 참여할 수 있다. 전력소비자가 소비하지 않음으로써 발생하는 전력수요량 감소에 따른 이윤은 전력소비자의 이익을 증가시킨다. 대개 이와 같은 현상은 전력요금이 매우 높을 때 즉, 최대부하시에서 일어난다.

전력수요관리 정책의 다양한 형태 가운데 부하이등의 측면에서, 전력소비자가 줄이는 전력수요량은 전체 전기에너지의 소비를 줄이는 것이 아니다. 전력수요의 감소라는 것은 다른 시간대에 전력수요의 복구를 진행시키게 되고, 이 복구된 전력은 발전에 의해 공급되어야 한다. 따라서, 전력소비자 자신의 전력수요를 줄이는 것은 최대부하시가 아닌 다른 시간대로의 전력수요의 이동을 나타낸다. 결국, 기존의 수요측입찰은 전기에너지 감소를 위해 필요한 것이 아니라, 전력수요의 재분배에 공헌하게 되는 것이다. 그러므로, 전력수요의 감소와 전력수요의 복구(recovery)는 전체 전력 생산비용에 변화를 가져오게 된다[1-2].

그러나 본 논문에서는 이러한 수요재분배에 의한 수요측입찰 방법 이외에 피크시간대에 주로 사용하는 고효율기기를 도입함으로써 수요측입찰[5]에 참여한다면 그 효과가 어떠한가를 분석하고자 한다.

### 3. 고효율기기의 수요측입찰 참여시의 수요자측 비용효과 분석

전력소비자 또는 부하사업자가 수요측입찰에 참여하기 위한 방법으로 고효율기기 사용을 통한 방법과 기존의 수요재분배를 통한 방법간에 수요자측 비용-이익 효과를 분석해 보고자 한다. 먼저, 두 가지 경우 모두 입찰에 참여하며, 피크시간대에는 모두 입찰에서 낙찰된다고 가정한다면, 이로부터 얻는 이익을 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 수요재분배에서 얻는 시장참여이익 :  $INCEN_{red}$
- 고효율기기에서 얻는 시장참여이익 :  $INCEN_{eff}$

이들의 크기는 원칙적으로 고효율기기에서는 정해지지만, 수요재분배시에는 명확히 결정되는 것은 아니다. 그러나 여기서는 같은 양을 입찰한다고 가정하므로 그 이익은 같다고 본다.

$$INCEN_{red} = INCEN_{eff} \quad (1)$$

한편, 고효율기기를 사용할 때의 비용을 분석하면 다음과 같다. 고효율기기는 부하차단이나 부하이전으로부터 파생되는 불편비용은 없으나, 기기구입가격 및 교체비용이 발생한다.

다. 이를 다음과 같이 정의한다.

$$\text{즉, 고효율기기 교체(건설)비용 : } CONSTC_{eff} \quad (2)$$

다음으로 수요재분배시의 비용은 다음과 같다. 즉, 이 때는 수요이전 및 차단으로 인한 비용이 발생한다.

수요재분배시의 불편비용:

$$UNCOMF_{red} = TRANSC_{red} + INTERR_{red} \quad (3)$$

여기서,  $TRANSC$ 는 수요재분배시 수요이전으로 인해 발생하는 불편비용이다. 또한,  $INTERR$ 은 수요재분배시 최대수요억제로 인한 전력차단으로 발생하는 불편비용이다. 이를 비용으로 환산하기가 어려운 경우도 있지만, 산업생산에서 초래되는 인건비 및 생산비의 변동으로 인한 비용의 산출은 가능하다.

시간이 갈수록 그 불편체감은 감소할 것이며, 그 값은 고효율기기에서 발생하는 교체비용보다는 매우 작게 된다.

$$\text{즉, } UNCOMF_{red} \ll CONSTC_{eff} \quad (4)$$

다음으로, 고효율기기를 사용함으로써 얻는 이득은 다음과 같다. 우선, 앞서 정해진 입찰이익이 있으며, 다음으로 에너지 절감을 통한 비용절감이익이 있다. 여기서는 부하복구나 이 전과정이 없으며, 기기사용시간동안 모두 절감효과가 있으므로 순 절감효과가 크다.

$$\begin{aligned} BENEFF_{eff} &= SAV_{eff} + INCEN_{eff} \\ &= \sum_{i \in OPER} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i + INCEN_{eff} \end{aligned} \quad (5)$$

수요재분배시에 얻는 이득은 부하이전 및 복구과정이 있어 절감이익이 적어지게 된다.

$$\begin{aligned} BENEFF_{red} &= SAV_{red} + INCEN_{red} \\ &= \sum_{i \in PEAK} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i \\ &\quad - \sum_{i \in BASE} \Delta RC_i \cdot \Delta RE_i + INCEN_{red} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $\Delta PC_i$ 는  $i$ 시간에서 피크감소로 인한 한계가격감소분이며,  $\Delta PE_i$ 는 피크감소시의 전력감소량이다. 대응적으로,  $\Delta RC_i$ 는 부하복구로 인한 한계가격증가분이며,  $\Delta RE_i$ 는 부하복구로 인한 전력증가분이다. 일반적으로 수요감소량과 수요복구량은 같지 않다.

다음으로 총 이득을 계산한다. 먼저 고효율기기 사용시의 총 이득은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} TOTBENEFF_{eff} &= BENEFF_{eff} - CONSTC_{eff} \\ &= \sum_{i \in OPER} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i \\ &\quad + INCEN_{eff} - CONSTC_{eff} \end{aligned} \quad (7)$$

다음으로 수요재분배시의 총 이득은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 TOTBENEF_{red} &= BENEF_{red} - UNCOMF_{red} \\
 &= \sum_{i \in PEAK} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i - \sum_{i \in BASE} \Delta RC_i \cdot \Delta RE_i \\
 &+ INCEN_{red} - UNCOMF_{red} \quad (8)
 \end{aligned}$$

따라서 이들의 차이를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \Delta TOTBENEF &= TOTBENEF_{eff} - TOTBENEF_{red} \\
 &= \sum_{i \in OPER, \neq PEAK} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i \\
 &+ \sum_{i \in BASE} \Delta RC_i \cdot \Delta RE_i + UNCOMF_{red} - CONSTC_{eff} \quad (9)
 \end{aligned}$$

이를 분석하여 보면 단기적으로는 고효율기기의 사용이 교체건설비의 발생으로 그 효과가 적은 것으로 보인다. 그러나 이를 장기적으로 분석하면 그 효과는 더욱 커질 것이다. 즉, 고효율기기는 한 번 건설하면 그 이후로는 교체비용이 발생하지 않게 된다. 그러나 수요재분배를 통한 방법은 매년 부하이전 및 차단비용이 발생하게 된다. 그러나 그 비용은 시간이 지날수록 줄어들 것이다. 이를 분석하면 다음과 같다, 단, 사용기간은 총 T년 동안으로 가정하며, 수요재분배시의 비용발생은 해마다 a비율(예 : 0.9)씩 감소한다고 가정한다.

$$\begin{aligned}
 TOTBENEF_{eff}(T) &= BENEF_{eff}(T) - CONSTC_{eff}(0) \\
 &= \left( \sum_{i \in OPER} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i \right) \cdot T \\
 &+ INCEN_{eff} \cdot T - CONSTC_{eff}(0) \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TOTBENEF_{red}(T) &= BENEF_{red}(T) - UNCOMF_{red}(T) \\
 &= \left( \sum_{i \in PEAK} \Delta PC_i \cdot \Delta PE_i - \sum_{i \in BASE} \Delta RC_i \cdot \Delta RE_i \right) \cdot T \\
 &+ INCEN_{red} \cdot T - UNCOMF_{red} \cdot \frac{(1 - a^T)}{(1 - a)} \quad (11)
 \end{aligned}$$

따라서 위의 계산에서 보듯이 고효율기기를 사용하여 입찰한다면 그 비용효과는 장기적인 관점에서는 매우 커지는 것을 알 수가 있다.

#### 4. 사례 연구

앞 절에서 계산한 분석을 실제로 알아보기 위한 사례 연구로서, 아래 그림과 같이 한 주기(12시간단위)동안 수요재분배의 사용 및 5% 고효율기기의 사용으로 인한 수요감소를 입찰에 참여시켰다고 가정한다.

이 때의 수요곡선의 변동을 그림 1과 같이 나타낼 수가 있다. 단, 대상 수요측 기기는 한가지로만 가정한다. 그림 1의 첫 번째 막대그래프는 초기 전력 시장의 수요형태(load profile)를 나타내며, 두 번째 그래프는 수요재분배를 통하여 수요측입찰에 참여한 결과로 나타나는 수요형태이다. 여기서 입찰에 참여하는 대용량 수요측의 전력기기는 그 사용시간

(예 : 공장가동시간)이 5~12시로만 가정한다. 피크시간대인 7~8시간에 기기 가동률을 감소시켜 전력수요를 감소시키고, 이를 다른 시간대인 11~12시간에 각각 다시 복구시킨 것이다.

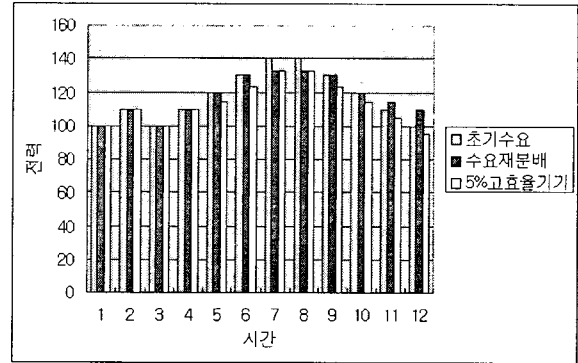


그림 1 수요형태의 변동

Fig. 1 Variation of Load profile

세 번째 막대그래프는 5~12시에만 사용하는 기기를 절전 효율 5%인 고효율기기로 대체하였을 때의 전력수요형태를 나타낸 것이다. 이는 당 시간대만 나타나는 것이 아니라 한번 설치하면 계속 전력수요가 감소된다.

먼저 시장한계가격을 다음 표 1과 같이 가정한다. 또한 피크시간대인 7~8시간에의 감소분은 두 가지 모두 동일하다고 가정하며, 수요재분배시의 전력복구량은 감소량과 같다고 가정한다. 이 때 당 수요 주기 동안 만의 수요재분배를 통해 절감된 비용과 5% 고효율기기의 사용을 통한 절감효과는 다음과 같이 비교된다.

- 초기의 총 시장비용 (전력가격) = 22,000 [원]
- 수요재분배시 시장비용 (전력가격) = 21,460 [원]
- 5% 고효율기기 사용시 시장비용 (전력가격) = 15,502 [원]

위의 결과에서 보듯이 고효율기기의 사용시에는 그 절감효과가 매우 커짐을 알 수가 있다.

표 1 시장한계가격

Table 1 Market marginal price

전력(kW)	한계가격 (원/kWh)
90 ~ 100 이하	5
100 ~ 110 이하	10
110 ~ 120 이하	15
120 ~ 130 이하	20
130 ~ 140 미만	25
140 이상	30

또한 여기서는 고효율기기의 교체비용과 수요재분배시의 부하이전 및 차단비용은 상황마다 다르며, 정확한 비용산정에 어려움이 있기도 하다.

그러나 사례연구를 위해 이를 적절히 가정하기로 한다. 먼저 고효율기기는 일반 기기(1000원)보다 그 구입 및 설치가격(2000원)이 2배 높다고 가정한다. 그리고 수요재분배시의 불편비용의 증가는 인건비 및 운영비의 상승에 기인한 것으로 평소 비용의 1.2배로 가정하며, 한 주기마다 10%씩 감소한다고 가정한다. 본 사례에서는 이전으로 인한 비용상승은 운영비의 상승으로만 계산한다. 또한 이러한 불편비용의 상승은 시간이 지날수록 감소하므로 그 비율을 90%로 가정한다. 이 때의 비용효과를 총 기간을 10주기로 가정하여 분석하였다.

표 2 시간대별 초기시장가격 및 운영비용  
Table 2 Hourly initial market price and operation cost

시 간	한계가격	수요량	운영비
1	5	100	12
2	10	110	12
3	5	100	12
4	10	110	12
5	15	120	10
6	20	130	10
7	30	140	10
8	30	140	10
9	20	130	10
10	15	120	12
11	10	110	12
12	5	100	12

- 수요재분배시 부하이전으로 인한 비용상승 :  $(120+48-70-70) = 28$ [원]
- 10주기 동안의 비용상승( $a=0.9$ ) :  $6.5 * 28 = 182$ [원]
- 고효율기기로 인한 절감비용 :  $6,497.5 * 10$ 주기 = 64,975 [원]
- 수요재분배로 인한 절감비용 :  $540 * 10$ 주기 = 5,400 [원]
- 고효율기기 교체 및 건설비용 상승분 : 2,000[원]

따라서 10주기 동안 사용 시 총 이득, 즉 비용절감차이는 다음과 같다.

- 총이득(비용절감)= 고효율기기이득 - 수요재분배이득  
:  $(64,975-2,000)-(5,400-182) = 57,757$ [원]

지금까지의 사례연구 결과는 그 데이터 값에서 다소 현실성이 적을 수도 있으나, 그 효과는 대체적으로 알 수가 있다. 이러한 결과로 볼 때 고효율기기도 수요재분배 방법과 마찬가지로 수요측입찰에 참여시킨다면 그 효과는 훨씬 커질 수

알 수가 있다. 물론 여기서는 리베이트(rebate)가 빠져 있으므로 실제로 그 효과는 이보다 훨씬 크다고 할 수 있다. 리베이트는 정부에서 고효율기기 설치시 보조금을 지급받는 것으로 이를 받으면 설치비가 줄어들어 그 효과는 훨씬 커지게 된다.

위의 예에서 고효율기기의 설치 및 구입비용이 2,000원이라 할 때, 리베이트가 제공된다면 그 가격은 줄어들게 된다. 또한 설치가격이 이보다 더 비싸게 되어 만약 3,000원이라면, 그 이득은 줄어들게 된다. 위의 결과에서 보듯이 (64,975-2,000)원에서 (64,975-3000)원이 된다. 또한 여기서 가정한 불편비용이 감소한다면, 즉 인건비의 상승이 줄어 든다면 그 이득은 더 커지게 된다. 위의 결과에서 보듯이 (5,400-182)원에서 182원보다 적어지게 되어 총 이득은 늘어나는 결과를 가져온다.

### 5. 결 론

지금까지 기존의 수요재분배를 통한 수요측입찰 방법 이외에 고효율기기를 사용하여 발생하는 전력감소량을 입찰한다고 가정하였을 때의 비용효과를 간략하게 분석하였다. 고효율기기는 설치 및 구입가격이 비싼 반면에 그 절감효과가 가동시간 내내 발생하므로 그 효과가 매우 크다. 수요재분배는 다시 수요를 복구하기 위해 발생하는 부하이전 및 차단비용이 발생하나 고효율기기를 사용할 시에는 이러한 비용발생도 없다. 따라서 국가적으로도 이러한 고효율기기의 절감분을 전력경쟁시장에 수요측 입찰의 형태로 참여시키는 방안도 연구되어야 할 것으로 본다.

### 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 in a competitive electricity market", IEE Proceeding Generation, Transmission, Distribution, Vol.143, No.3, pp.232-237, May 1996.
- [2] G. Strbac, Daniel Kirschen, "Assessing the competitiveness of demand-side bidding", Vol.14, No.1, pp.120-125, Feb. 1999.
- [3] Daniel Kirschen, "Demand-side view of electricity market", Vol.18, No.2, pp.520-527, May 2003.
- [4] 산업자원부, "DSM 잠재량평가와 모니터링을 위한 기법 개발 및 활용방안 연구", 최종보고서, 1998.
- [5] 심건보, 김정훈, 원종률, "고효율기기의 수요자측 입찰을 고려한 수요관리 모니터링 시스템", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.65-67, 2003. 7.

저 자 소 개



**원 증 룰(元鍾律)**

1969년 7월 21일생. 1993년 서울대학교 전기 공학과 졸업(학사). 1995년 서울대학교 전기 공학부 졸업(석사). 1998년 서울대학교 전기 공학부 졸업(박사). 1998년~2001년 한전전력 연구원 선임연구원. 2002년~현재 안양대학교 전기전자공학과 교수



**김 정 훈(金正勳)**

1955년생. 1978년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 1985년 서울대학교 전기공학부 졸업(박사). 현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수