

고효율 기기의 수요자측 입찰을 고려한 수요관리 모니터링 시스템

심건보 김정훈 권중률

충익대학교 전자전기공학부 안양대학교 전기전자공학과

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

Shim, Keon-bo Kim, Jung-hoon Won, Jong-ryul

Hong-ik University, Anyang University

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

도입됨에 따라 DSM은 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 수요측 입찰이라는 방법[1],[2]로 이미 부분적으로 시작되고 있으며, 미국을 중심으로는 수요응답(Demand Response)라고 불리며 다양한 방법으로 시도되고 있다.

1. 서 론

최근에 전력산업의 구조개편이 진행되면서 에너지원의 많은 부분을 외국에 의존하고 있는 국내의 실정에서 제한된 에너지자원의 합리적인 이용을 목적으로 국가적인 관점에서 전력수요관리(DSM : Demand Side Management)의 필요성이 크게 부각되고 있다. 또한, 경쟁적 전력시장하에서 기존의 DSM과는 다른 각도에서의 전력수요관리 프로그램이 도입되고 있다. 이러한 방법 중의 하나가 수요자측 입찰(DSB : Demand Side Bidding)이라는 방법으로서 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.

이 연구결과는 첨두 부하 시간대에서 수요자측 입찰(DSB)에 의하여 부하가 차단되면 연료비가 비싼 발전기가 운전을 하지 않아도 되므로 전체 계통의 총 운전비가 줄어들게 되어 공급자측 입장에서는 이득이 되고, 소비자측 입장에서는 생산 등을 위한 부하를 차단하였으므로 손실이 발생하게 된다는 관점에서 첨두부하의 감소 크기와 이에 따른 전력가격의 감소에 대한 계량화를 시도하였다. 따라서 소비자측 입장에서 DSB에 참여하여 발생하는 손실에 대하여 공급자측에서 발생한 이득의 일부를 소비자측에 보상해주어야 한다. 이 때, 소비자측 입장에서 보상을 받는 금액과 입찰 부하의 크기와 관계를 DSB로 인한 전력가격으로 정의할 수 있다[2].

우리 나라와 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 과소 평가될 수도 있다.

2.2 전력가격과 부하 크기의 관계

부하기기의 가격변화는 부하기기의 보급상태를 다르게 하여 전체 부하곡선에 대한 변화를 가져오게 된다. 또한, 전력가격도 부하와의 상관관계가 있음[3]을 알 수 있다.

이 식에 부하기기의 가격이 같다고 하고, 2종류의 고효율 기기를 도입하는 것으로 가정하면, 가격 x 에 대한 각 고효율 기기의 부하 크기 변화분 ΔL 은 다음과 같다.

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

여기서 전력가격 x 는 DSB의 영향을 표현한 것이므로, DSB를 시행하기 전과 후의 부하의 변화 ΔL 은 다음과 같다.

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

본 연구에서는 전력수요관리 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 어느 시점에서 고효율 기기의 투입이 향후에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

3. DSM 모니터링 시스템

3.1. DSM 모니터링 시스템의 개념

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

2.1 DSB와 전력가격

전력산업에 구조개편이 시작되고, 경쟁적 전력시장이

3.2 DSB의 고려

DSM 모니터링 시스템에서 DSB의 영향을 고려하기 위하여 DSB가 처음 실시되는 시점의 입찰 전력을 모두 고효율 기기로 교체한다고 가정하면 고효율 부하기기의 보급률이 바뀌게 된다. 이러한 현상을 확산 모형에 반영하게 된다.

기존의 기기를 고효율 기기로 채택하는 전력수요관리 프로그램의 경우에 s 계절에서의 첨두부하시 기기 i 의 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.

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

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

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

3.3 DSB를 고려한 보급률 확산모형의 변경

고효율 기기 보급률을 추정하는 데에 있어서는 채택방법에 따라 크게 세가지로 구분할 수 있는데 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)로서 표현할 수 있다. DSB를 고려하는 경우에 신규 보급용량, 교체용량 및 대체용량의 변화는 DSB가 시행되는 시점에서만 변화가 있는 것으로 가정한다.

s 계절에서의 고효율기기 i 에 대한 보급용량을 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$Dr_s^i = NA_s^i + SA_s^i + AA_s^i \quad s \neq DSB \text{ 시행초기}$$

$$Dr_s^i = NA_s^i + \Delta NA_s^i + SA_s^i + \Delta SA_s^i \quad (8)$$

$$+ AA_s^i + \Delta AA_s^i \quad s = DSB \text{ 시행초기}$$

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

$$NA_s^i + \Delta NS_s^i = (FC^i - RC_s^i) \int_s^{s+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (9)$$

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

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

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

$$AA_s^i + \Delta AA_s^i =$$

$$\sum_{j=1}^s (\Delta RC_{s-j}^i + \frac{\Delta AC_{s-j}^i}{\eta}) \int_s^{s+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q e^{-(p+q)t})^2} dt \quad (11)$$

s 계절에 고효율 기기로 채택이 가능한 보급용량 Dr_s^i 와 기존 기기의 자연증가를 Ni^i 가 고려된 총 보급용량은 다음과 같다.

$$RC_{s+1}^i = RC_s^i - Dr_s^i + Ni^i RC_s^i \quad (12)$$

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

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

4. 사례연구

본 연구에서 제안하는 수요자측 입찰을 고려한 고효율 기기의 모니터링 시스템을 개발하였으며, 수요자측 입찰 제도의 시행여부에 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.

표 1 DSM 대상기기별 입력자료

	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
η [%]	20	5
l [yr]	1	15
N_i [%]	2.5	2.7
p	0.04	0.027
q	0.5	0.53

DSB에 의하여 교체되는 고효율 기기에 대한 각각의 부하크기를 식(1)의 2차식으로부터 구하면, 고효율 형광등 350[MW], 유도전동기 420[MW]가 된다고 가정하였다. 이 조건에 대하여 개발된 DSM 모니터링 시스템을 이용하여 5년간(20계절)에 대하여 검토하였다. DSB는 5번째 계절에서 시행하는 것으로 가정하였다.

4.1 계절별 최대부하 예측

DSM 대상기기에 대한 DSB 시행 여부에 따른 계절별 최대부하 예측 결과는 표2와 같으며, 각각의 대상기기에 대한 예측결과의 비교는 그림 1과 2에 보였다.

표 2. DSB를 고려한 계절별 최대부하(고효율 형광등)

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

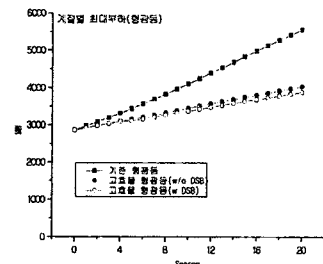


그림 1. 고효율 형광등의 계절별 최대부하 비교

5. 결론 및 검토

본 연구에서는 전력수요관리의 영향 평가방법인 모니터링시스템을 수요자측 입찰을 고려하여 새롭게 개발하였다. 이 시스템으로 수요자측 입찰을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 고효율 기기의 최대부하 예측과 보급용량을 산출하는 것을 통하여 수요자측 입찰의 영향을 정량화하였다. 그 결과 수요자측 입찰은 그 이후에도 계속 경향을 미쳐서 그것에 대한 효과가 부하관리에 비하여 지속적으로 나타남을 보여 이에 대한 올바른 평가가 필요하다. 또한, 이 방법에 의하여 수요자측 입찰의 영향을 정량화 시도를 가능하게 함으로써 추후 효과를 경제적 계량화할 때 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

향후 경쟁체제의 전력시장에서 수요자측 입찰이 정책에 따라 반영되는 비율을 올바르게 평가하는 방법론과 보급 정책에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임.

[참고문헌]

- [1] G. Strbac, E. D. Farmer, B. J. Cory, "Framework for the incorporation of demand-side bidding in a competitive electricity market", IEE Proc-Generation, Transmission, Distribution, 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 기법개발 및 활용방안 연구, 1998. 10.
- [5] 한국전력공사, "전동기 보급 실태조사", 1994.8
- [6] 한국전력공사, "조명 기기 보급 실태조사", 1994.8

[기호 설명]

- $P_{1,s}$: 고효율 기기로 채택가능한 부하전력
- $P_{2,s}$: 고효율 기기로 이미 채택된 부하전력
- $P_{3,s}$: 고효율 기기로 채택 불가능한 부하전력
- RLF : 기기의 정격 부하율
- CF : 일치율(Coincidence Factor)
- DF : 부동률(Demand Factor)
- FC : 최종 연도에서의 고효율기기 수요예측치
- RC_0 : 초기의 고효율기기로 채택 가능 용량
- AC_s : s 계절 기기중 이미 고효율로 채택된 용량
- ΔNS_b : DSB 시행초기의 신규보급용량 변화분
- ΔSA_b : DSB 시행초기의 교체용량 변화분
- ΔAA_b : DSB 시행초기의 대체용량 변화분
- Ni_s : s 계절에 고효율기기의 자연증가율
- η : 고효율 기기에 사용에 따른 절감효율
- l : 기기의 수명
- p : 혁신계수
- q : 모방계수

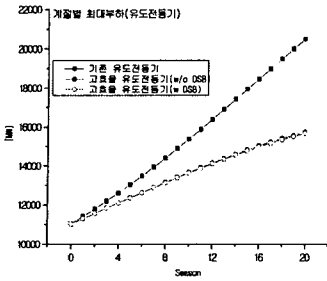


그림 2. 유도 전동기의 계절별 최대부하 비교

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

사례 연구기간에 DSM 대상기인 고효율 형광등과 유도전동기의 보급용량에 대한 사례연구를 수행한 결과를 그림 3과 4에 각각 보였는데, 그림에서 보는 바와 같이 DSB를 시행하기 전과 후의 결과에서 DSB가 시행된 계절에 보급 용량의 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 각 대상기에서 누적 보급용량이 대상기간내에서 포화되지 않고 있음을 볼 수 있다.

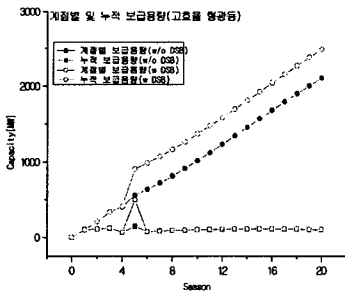


그림 3. 고효율 형광등의 계절별 보급용량

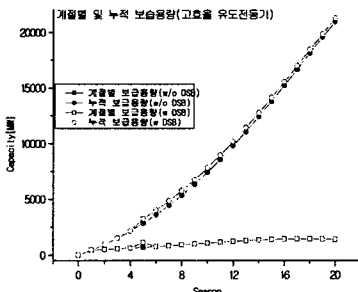


그림 4. 유도 전동기의 계절별 보급용량