

국가적 관점에서 본 전력수요관리 심사모델에 관한 연구

유지상*, 박종성*, 장승찬**, 김정훈*
 * 홍익대학교 전기제어공학과
 ** 에너지자원기술개발지원센터

A Study on DSM Screening Model in Nation-wide Perspective

Yu, Ji-Sang* Park, Jong-Sung* Chang, Seungchan** Kim, Jung-Hoon*
 * Dept. of Electrical & Control Engineering, Hong Ik University
 ** R&D Management Center for Energy and Resources, KOREA

ABSTRACT

An important purpose of screening DSM(Demand Side Management) programs is to determine which programs or technologies seem to be most worthy of further development, given the characteristics of the particular utility system. Complication found in screening DSM technologies is the consideration of costs and benefits from several perspectives : the utility, society, participants, free riders and nonparticipants. In this paper, a nation-wide DSM screening model is presented using a rigorous mathematical formulation on the financial basis and the concept of marginal costs considering all affected parties inside the nation is fully exploited.

I. 서 론

전력수요관리란 전기에너지의 효율적 이용을 목적으로 부하곡선을 바람직한 방향으로 개선하기 위해서 수용가의 전기사용 양식을 바꾸려는 일련의 계획된 행위를 의미하며 IEEE에서는 그 적용기법에 따라 기기의 효율향상을 통한 소비절약(Strategic Conservation), 최대부하 억제(Peak Clipping), 심야부하 창출(Valley filling), 부하이동(Load Shifting), 부하창출(Strategic Load Growth), 가변부하조정(Flexible Load Shape)으로 분류하고 있다.

수요관리(DSM)의 심사(Screening)는 수요관리에 관련된 프로그램과 제반 기술에 대한 비용 및 특성을 미리 평가하는 것으로 이를 통하여 구현 가능한 프로그램 중 가장 타당성이 있는 프로그램을 선정함으로써 목표를 수요관리를 실현하기 위한 바람직한 수요관리계획을 수립할 수 있다. 따라서, 수요관리심사는 전력회사의 부하특성 및 비용, 수요관리에서의 대안적인 기법이 모두 고려되어야 하며 수요관리를 통한 비용과 이익에 대한 현가화, 수용가의 참여도, 사회적인 파급효과 및 시스템전반에 대한 수요관리의 영향이 제시되어야 한다. 이러한 수요관리의 심사결과는 보다 세부적인 영향평가를 위한 계획수립이 반영되며, 수요관리 프로그램의 시행을 위한 수요관리 후보 프로그램에서의 우선도 결정 그리고 기존 전력시스템에 적용하였을 때의 기술적 잠재량(Technical Potential), 경제적인 잠재량(Economic Potential), 획득가능 잠재량(Achievable Potential) 및 비용효과적인 프로그램에 대한 에너지 절감효과를 타진하는데 이용되어 진다. 또한, 전력수요관리 심사의 목적자체가 전기에너지의 소비절약이나 전력공급에 있어서의 대안 등으로 볼 수 있으므로 타당성이 충분한 프로그램에 대해서는 차후 통합자원계획(Integrated Resource Planning)과 같은 보다 포괄적인 문제로 포함되어 비용효과 또는 가치에 대한 분석이 행해지게 된다.

수요관리심사의 정량적 평가를 위해서는 수리적모델 수립이 불가피하며 여기서의 목적함수로는 최대부하 억제, 수요관리에 의한 사회적 비용 최소화 또는 사회적 가치창출 최대화 등을 들 수 있다. 이러한 정량적 평가기법은 1983년 미국에서의 비용최소화(Least Cost Panning) 계획이라고 할 수 있는 California Standard Practice의 TRC(Total Resource Cost) 방법[1][2] 및 수요관리프로그램에 의한 비참여자의 영향평가를 위한 RIM(Ratepayer Impact Measure) test[1][3]가 널리 이용되어 왔으나, 여기서는 프로그램 참여자와 비참여자가 전력수요에

대한 가격의 탄성치를 갖는다는 점을 고려하지 않았고 또한 부하창출 프로그램인 경우에는 적합치 않은 단점을 가진다고 할 수 있다.

최근에는 이와 같은 비용최소화 계획에 대한 대안으로 가치최대화 계획(Value-based Planning)이 대두되어 그 실효성이 입증되고 있다. B. H. Hobbs가 제안한 모델[4]에 의하면 수요관리 프로그램 실시에 따른 전력수요에 대한 반향효과(Rebound Effect)를 고려한 점과 부하창출이나 연료대체 프로그램에 적용 가능하다는 점 또한 에너지서비스의 이용함에 따른 수용가의 가치창출(Consumer Surplus) 등을 고려하여 사회적 관점에서의 수리적 수요관리 모델 수립에는 크게 기여하였지만 수요관리 프로그램에 의해 영향받는 집단을 전력회사와 수용가만을 고려한 점과 수요관리 전후의 참여자와 비참여자의 순편익을 계산하는데 있어서 경제구분의 모호함, 간략화한 수요관리 프로그램에 따른 총 가치의 수식화 모델에서 포괄적인 모델로 상사관계(Analogy)를 이용하여 곧바로 유도된 점 등의 단점을 가진다고 할 수 있다.

본 논문에서는 수요관리에 의해 영향받는 집단을 국가적 관점에서 분류하여 도시화하고, 각 영향집단별로 수요관리에 따른 순편익을 한계비용방법을 적용하여 계산함으로써 국가적 관점에서 수요관리에 의한 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 수리적 모델을 제시하였다.

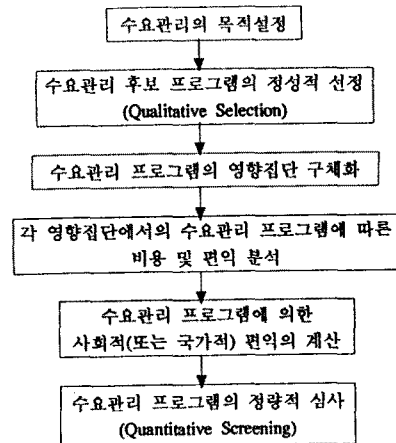


그림 2.1 수요관리의 심사절차

II. 수요관리심사의 접근방법

수요관리심사를 위해서는 크게 한계비용(Marginal Cost)방법과 에너지회피비용(Avoided Energy Cost)방법이 널리 쓰이나 한계비용방법이 절감량이나 절감비용을 추산함에 있어 유리함으로 인해 보다 많이 쓰이며 여기에 추가로 감도분석 등과 같은 기법이 적용될 수도 있다. 이와 같은 방법은 크게 두 가지 절차를 거쳐 심사가 가능한데 수요관리 후보 프로그램의 정성적인 선정과 수리적 모델에 의한 정량적인 분석이 그것이다.

한계비용은 설비에 대한 한계비용과 에너지에 대한 한계비용을 모두 포함하여야 하며, 고려대상 기간동안 매 시간 혹은 일별로 구해야하는 것이 원칙이나 제간의 평균한계비용을 이용할 수도 있으며 따라서 연간 4~5구간에 대한 허가화된 한계비용을 계산함으로써 적용이 가능하다. 이와 같은 절차를 세분화하면 그림 2.1과 같다.

수요관리 후보 프로그램에 대한 비용효과분석 혹은 가치분석이 타당성 있는 결과를 가져오게 되면 이를 공급측면의 대안의 결과와 비교하여 통합자원계획 과정에 포함시키게 된다.

III. 국가적 관점에서의 수요관리심사모델

1. 수리적 모델 수립을 위한 가정

국가적 관점에서의 수요관리 프로그램 심사를 위해서는 수요관리의 목적을 에너지의 수입 또는 소비 감소와 환경오염의 완화로 둘 수 있으며 이는 경제적인 편익, 기술의 촉진, 사회적 인 파급효과, 기회비용의 증대 등으로 대변된다 할 수 있다. 수요관리에 의해 영향을 받는 집단은 프로그램 시행전 상태에서 보면 전력회사, 일반수용가, 프로그램 편승자(Free Rider), 연료판매회사, 전력설비제조업체, 독립발전 또는 열병합발전, 환경관련 서비스단체 등과 같은 기타로 분류할 수 있으며, 프로그램 실시이후 대두되는 집단으로는 수요관리설비 제조업체, 연구기관, 프로그램 참여자, 프로그램 비참여자로 둘 수 있다.

프로그램 영향집단 중 금융기관 또는 은행은 본 논문의 고려대상에서 제외하였으며, 수요관리는 전력수요관리에 한하고, 국가 내에 전력회사는 한 개만 있는 것으로 가정하였다. 외국에서 수입되는 항목으로는 관련기술, 연료, 전력설비, 기타로 두었고 수요관리를 통한 수출은 없는 것으로 가정하였다. 이러한 집단으로 구성되는 국가 내에서는 수요관리로 인한 순편익의 양의 값을 가진다면 수요관리 프로그램 실시에 대한 타당성이 확인되는 것이며, 그렇지 않은 경우는 다른 대안을 모색해야 할 것이다.

본 논문에서는 수리모델 수립을 위해 아래와 같은 가정을 두었다.

- i) 수요관리 프로그램은 고려대상 기간동안 직접 혹은 간접적으로 변경되지 않는다.
- ii) 프로그램 참여자에게 제공되는 에너지 서비스의 질과 양은 변경되지 않고, 비참여자에 의해 구매되는 전기량도 변경되지 않는다.
- iii) 수요관리 이전 프로그램 편승자의 요금단가는 일반수용가에 준하며, 수요관리 이후는 프로그램 참여자에 준한다.
- iv) 수요관리 전후의 편승자의 수용가에서의 구성비율은 변하지 않는다.
- v) 수요관리설비는 수용가 1가구당 1대 보급한다.

2. 수요관리 영향집단에서의 비용 및 편익 분석

개개의 수요관리 영향집단에서의 편익은 세입과 지출비용의 차로 나타나게 되며 개개의 집단에서 고정비용으로 흡수되는 부분 즉, 인건비나 감가상각비 등을 고려하여 경제적 편익에 따른 계수 η_i ($0 < \eta_i < 1$)를 두어 편익을 계산하였으며, 수용가의 경우 전력소비에 따른 가치창출을 고려하여 이에 상응하는 계수 γ_i ($0 < \gamma_i$)를 두어 창출된 가치에 대한 비용의 환산을 행하였다.

국가적 관점에서의 편익은 각 집단에서의 편익의 총합과 같으며, 수요관리 프로그램 전후의 개개의 영향집단에서의 편익계산은 아래와 같다.

수요관리 이전

- i) 전력회사(U)의 경우 : $\eta_u \cdot (Q \cdot P - CF_u - CQ - CC_u - CX)$
- ii) 전력설비제조업체(C)의 경우 : $\eta_c \cdot (CC_u + CC_q - CC_{im} - CT_{im}^0)$
- iii) IPP, NUG, QF (Q)의 경우 : $\eta_q \cdot (CQ - CF_q - CC_q - CC_{im}^0)$

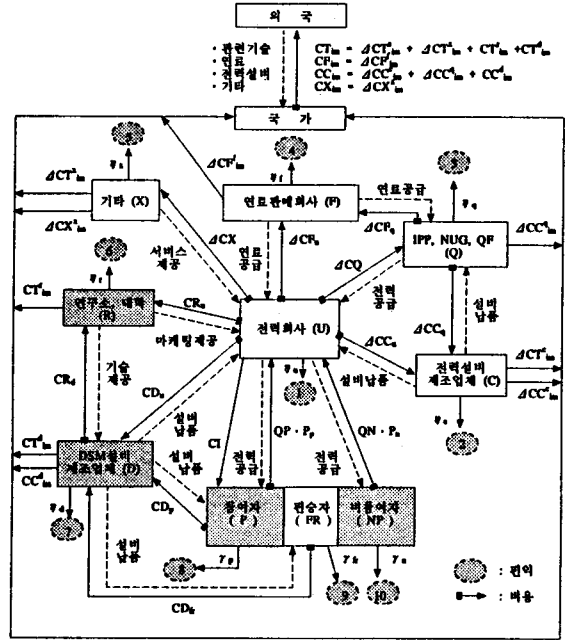


그림 2.2 국가적관점에서의 수요관리 시스템

- iv) 연료판매회사(F)의 경우 : $\eta_f \cdot (CF_u + CF_q - CF_{im}^0)$
- v) 기타(X)의 경우 : $\eta_x \cdot (CX - CT_{im}^0 - CX_{im}^0)$
- vi) 일반수용가(C)의 경우 : $\gamma \cdot (1 - fr) \cdot Q \cdot F$
- vii) 프로그램 편승자(FR)의 경우 : $\gamma_{fr} \cdot (fr \cdot Q \cdot P - CC_{im}^0)$

수요관리 이후

- i) 전력회사(U)의 경우 : $\eta_u \cdot (QP \cdot P_p + QN \cdot P_n - CF_u - CQ - CC_u - CX - CR_u - CD_u - CI)$
- ii) 전력설비제조업체(C)의 경우 : $\eta_c \cdot (CC_u + CC_q - CC_{im} - CT_{im}^0)$
- iii) IPP, NUG, QF (Q)의 경우 : $\eta_q \cdot (CQ - CF_q - CC_q - CC_{im}^0)$
- iv) 연료판매회사(F)의 경우 : $\eta_f \cdot (CF_u + CF_q - CF_{im}^0)$
- v) 기타(X)의 경우 : $\eta_x \cdot (CX - CT_{im}^0 - CX_{im}^0)$
- vi) 연구·대학(R)의 경우 : $\eta_r \cdot (CR_u + CR_d - CT_{im}^0)$
- vii) 수요관리설비 제조업체(D)의 경우 : $\eta_d \cdot (CD_u + CD_p + CD_{fr} - CT_{im}^0 - CC_{im}^0)$
- viii) 참여자(P)의 경우 : $\gamma_p \cdot (1 - fr') \cdot QP \cdot P_p$
- ix) 프로그램 편승자(FR)의 경우 : $\gamma_{fr} \cdot (fr' \cdot QP \cdot P_p - CD_{fr})$
- x) 비참여자(NP)의 경우 : $\gamma_n \cdot (QN \cdot P_n)$

3. 정량적 심사를 위한 수리적 모델

국가적 관점에서의 수요관리에 따른 연간 순편익(Net Benefit)은 개별 영향집단에서의 수요관리 이후의 편익과 수요관리 이전의 편익의 차의 총합으로써 계산되어지는 순현재가치의 최대화(Net Present Worth Maximization)에 기하여 적용하였으며, 개별 영향집단에서의 프로그램 전후를 통한 순편익은 아래와 같다.

그림 2.2는 수요관리 이후의 개개의 영향받는 집단에서의 비용 및 편익의 변화를 세부적으로 도시화한 것이다. 연간 순편익에 대한 결과식에서 수식의 간략화를 위해 첨자 1를 생략하였다.

i) 전력회사의 연간 순편익(BU) :

$$BU = \eta_u \cdot [(PT_a - PT_b) - \Delta CF_u - \Delta CQ - \Delta CC_u - \Delta CX - CR_u - CD_u - CI] \\ = \eta_u \cdot [(PT_a - PT_b) - \theta \cdot (MCF_u + MCQ + MCC_u + MCX + \bar{C}R_u + \bar{C}D_u + \bar{C}I)]$$

여기서, PT_a : 수요관리 이후 전력회사의 총요금수입

$$PT_a = PP(P_p, \theta) + PN(P_n) \\ = QP(P_p, \theta) \cdot P_p + QN(P_n) \cdot P_n \\ = (QP^0 + \theta \cdot \frac{dQP}{d\theta}) \cdot P_p + QN(P_n) \cdot P_n$$

$$QP(P_p, \theta) = K_1 \cdot e^{-K_2 \theta} \cdot P_p^{-K_3}$$

여기서, P_p : 참여자의 요금단가[원/kWh]

θ : 수요관리설비의 보급 댓수

K_1, K_2, K_3 : 상수

ε_p : 참여자의 에너지수요에 대한

가격탄성치

$$QN(P_n) = K_3 \cdot P_n^{-K_3}$$

여기서, P_n : 비참여자의 요금단가[원/kWh]

ε_n : 비참여자의 전력수요에 대한 가격탄성치

K_3 : 상수

PT_b : 수요관리 이전 전력회사의 총 요금수입

$$PT_b = Q \cdot F \quad \text{여기서, } Q : \text{총 수요량}$$

F : 요금단가[원/kWh]

ΔCF_u : 전력회사의 연료비용에 대한 순편익

$$(\bar{C}F_u - CF_u) = \theta \cdot MCF_u$$

여기서, MCF_u : 수요관리설비에 대한 연료의 한계비용

ΔCQ : 전력구입 비용의 순편익

$$(\bar{C}Q - CQ) = \theta \cdot MCQ$$

여기서, MCQ : 수요관리설비에 대한 전력구입의 한계비용

ΔCC_u : 설비비용의 순편익

ΔCX : 기타비용의 순편익

CR_u, CD_u, CI : 수요관리로 인한 전력회사의 지출비용

$$CR_u = \theta \cdot \bar{C}R_u$$

여기서, $\bar{C}R_u$: 수요관리설비 한 대당 지출비용

수요관리 이전에서 프로그램 시행단계로 넘어가는 경제에서 전력회사의 총 요금 수입은 같으므로

$$PT_b = PT_a \quad \Big|_{\theta=0} \quad \text{에서}$$

$$Q \cdot P = QP^0 \cdot P_p + QN(P_n) \cdot P_n \text{ 이고,}$$

$$QP^0 = 0 \text{ 으로 가정하면}$$

$$PT_a - PT_b = \theta \cdot \frac{dQP}{d\theta} \cdot P_p \\ = -\theta \cdot K_2 \cdot PP(P_p, \theta)$$

ii) 전력설비 제조업체의 연간 순편익(BC) :

$$BC = \eta_c \cdot (\Delta CC_u + \Delta CC_q - \Delta CC_{im} - \Delta CT_{im}^c) \\ = \eta_c \cdot \theta \cdot (MCC_u + MCC_q - MCC_{im} - MCT_{im}^c)$$

iii) IPP, NUG, QF의 연간 순편익(BQ) :

$$BQ = \eta_q \cdot \theta \cdot (MCQ - MCF_q - MCC_q - MCC_{im}^q)$$

iv) 연료판매회사의 연간 순편익(BF) :

$$BF = \eta_f \cdot \theta \cdot (MCF_u + MCF_q - MCF_{im}^f)$$

v) 기타의 연간 순편익(BX) :

$$BX = \eta_x \cdot \theta \cdot (MCX - MCT_{im}^x - MCX_{im}^x)$$

vi) 연구소·대학의 연간 순편익(BR) :

$$BR = \eta_r \cdot [\theta \cdot (\bar{C}R_u + \bar{C}R_d) - CT_{im}^r]$$

vii) 수요관리설비 제조업체의 연간 순편익(BD) :

$$BD = \eta_d \cdot [\theta \cdot (\bar{C}D_u + \bar{C}D_p + \bar{C}D_{fr}) - CT_{im}^d - CC_{im}^d]$$

viii) 참여자의 연간 순편익(BP) :

$$BP = \gamma_p \cdot (1 - f_f) \cdot QP \cdot P_p - \gamma \cdot f_\theta \cdot (1 - f_f) \cdot Q \cdot F$$

여기서, f_θ : 수요관리설비의 보급율

$$= \frac{\theta}{\text{전체수용가수}}$$

f_n : 비참여자의 구성비율 ($= 1 - f_p$)

f_f : 수요관리 이후의 편승자 구성비율 ($= f_r/f_\theta$)

ix) 프로그램 편승자의 연간 순편익(BFR) :

$$BFR = \gamma_{fr} \cdot [(f_f \cdot QP \cdot P_p - \theta \cdot \bar{C}D_{fr}) - (Q \cdot P - CC_{im}^d)]$$

x) 비참여자의 연간 순편익(BNP) :

$$BNP = \gamma_n \cdot (QN \cdot P_n) - \gamma \cdot f_n \cdot Q \cdot F$$

따라서, 국가적관점에서 본 허가화된 연간 순편익(NB_{DSM})은 다음과 같다.

$$NB_{DSM} = \sum_T \frac{1}{(1+i)^T} (BU' + BC' + BQ' + BF' + BX' + BR' + BD' + BP' + BFR' + BNP')$$

IV. 결론 및 검토

본 논문에서는 국가적관점에서 수요관리에 대한 정량적 성과를 위하여 순현재가치 최대화방법을 이용 수요관리시스템에 대한 수리적 모델을 구축하였고, 수요관리에 의해 영향받는 각 집단에 대해 비용 및 편익을 계산함으로써 수요관리 전후의 경제적인 순편익에 대한 심사방법을 쉽게 접근할 수 있도록 하였다. 수용가에서의 에너지수요에 대한 가격의 탄성치 및 수요관리에 따른 설비 보급대수를 고려하여 전력수요를 표현하였으며, 수요관리 프로그램 참여자, 편승자, 비참여자로 각각 나누어 개개의 수용가에 대한 순편익을 계산함으로써 수요관리에 의한 수용가에서의 영향을 보다 정밀하게 제시하였다. 실험결과와 기존의 수리적모델에서 보다 타당성 있는 결과를 제시할 수 있을 것으로 사료되며 앞으로, 수요관리효과에 대해 표현가능한 부하의 모델링기법 및 시스템 비용분석법(System Cost Analysis Method)등의 고려를 첨가한 보다 정교한 수요관리시스템에 대한 수리적모델 수립이 요망된다.

V. 참고문헌

- [1] K. White, "The Economics of Conservation," IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 100, No. 11, pp. 4546-4552, November, 1981.
- [2] W. F. McKenna, "Measuring Customer Preferences for Load Management Services Options," IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. 104, No. 9, pp. 2307-2314, September, 1985.
- [3] A. P. Sanghvi, "Measurement and Application of Customer Interruption Costs/Value of Service for Cost-Benefit Reliability Evaluation : Some Commonly Raised Issues," IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 5, No. 4, November, 1990.
- [4] S. K. Nelson, B. F. Hobbs, "Screening Demand-Side Management Programs with a Value-Based Test," IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 7, No. 3, pp. 1031-1043, August, 1992.
- [5] A. T. De Almeida, A. H. Rosenfeld, "Demand-Side Management and Electricity End-Use Efficiency," Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, 1987.
- [6] D. R. Limaye, V. Rabl, "International Load Management : Methods and Practices," The Fairmont Press Inc., 1988.