

전력 기본요금 초기 설정에 관한 연구

강신재, 김영준, 김영일, 오도은, 최승환
한국전력공사 전력연구원 S/W센터

Research on the Methodology of Standing Charge Set-up

Shin Jae Kang, Young-jun Kim, Young Il Kim, Do-eun Oh, and Seung-hwan Choi
S/W Center, KEPCO Research Institute

Abstract - 현재 한국전력공사에서 전기를 제공하는데 투입된 고정비용을 회수하기 위해 기본요금 제도를 도입하고 있다. 현재 사용되고 있는 요금제도는 계약전력에 맞게 과금을 하고 계약전력을 초과해서 사용하게 되면 초과사용량에 대한 초과요금을 과금하고 있다. 전력비용을 적게 내기 위해 계약전력을 사실대로 보고하지 않는 경우가 발생할 수 있고 이를 해결하기 위한 기본요금 및 초과요금을 산정하는 방법에 대해 제안하고 자 한다. 게임이론에서 널리 사용하고 있는 한 방법인 VCG(Vickrey-Clarke-Groves) 방법론을 기본요금 및 초과요금을 산정하는 데에 적용을 하여 거짓이 적이지 않은 진실한 계약전력의 보고가 전력소비자에게 가장 이상적인 방법임을 보인다.

1. 서 론

현재 한국에서 전기요금은 기본요금, 전력량요금 및 연료비조정요금의 합계액으로 산정된다. 기본요금은 kWh요금 등 에너지 사용에 근거한 변동요금을 제외한 kW요금, kVA요금, 수송가 요금 에너지 사용에 관계 없는 설비비 등 고정비용을 회수하기 위한 요금의 합계를 말한다. 전력량요금은 사용전력량이 있는 경우 사용전력량에 대하여 부과하는 요금으로써 계약전력의 단가를 적용하고 계약전력보다 초과되는 사용량에 있어서는 초과요금을 부과한다. 현재 사용하고 있는 초과요금은 다음과 같다.

〈표 1〉 초과요금 표

계약전력 1kW당 사용전력량	초과요금 적용기준
451kWh ~ 720kWh/월까지	초과 사용전력량 × 해당 계약종별의 전력량요금단가 × 150%
720kWh/월 초과분	초과 사용전력량 × 해당 계약종별의 전력량요금단가 × 300%

사용전력량이 계약전력 1kW마다 월간 450kWh를 초과하는 경우 첫 번째 초과하는 달에는 초과요금의 부과를 예고하고, 두 번째 달부터 초과전력량에 해당 계약종별 전력량요금 단가의 150%를 적용하여 초과요금으로 부과한다. 현재, 적용하고 있는 시스템은 150% 및 300%로 초과요금의 비율이 정해져있다. 본 논문에서는 좀 더 확실하고 효율적인 초과요금을 부과하기 위한 방법론을 제안한다. 제안하는 방법은 게임이론에서 널리 쓰이고 있는 VCG방법론으로써 이를 초과요금 적용기준을 개선하는 데에 적용하여 전력사용자들이 거짓 없이 자신의 계약전력을 보고할 수 있도록하고 또한, 초과요금을 좀 더 효과적으로 산출하는 데에 적용이 된다.

본 논문의 남은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 VCG 방법론의 소개와 이를 초과요금 적용기준을 산정하는 데에 적용을 한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 방법을 요약한다.

2. 본 론

2.1 VCG 방법론 소개

VCG 방법론에서는 게임을 진행하는 동안, 자신이 필요한 자원에 대한 만큼에 솔직하게 입찰을 하는 것이 최적의 방법임을 보여준다. VCG 방법론에서 최적화 문제는 다음과 같다.

$$\text{maximize } \sum_{i \in N} W_i(R_i), \text{ subject to } \sum_{i \in N} R_i \leq R_{SR} \quad (1)$$

W_i , R_i , 및 R_{SR} 는 각각 보고된 성능의 함수, i 번째 고객에게 할당된 자원, 및 한 번의 서비스 구간동안에 시스템이 가지고 있는 자원의 총량을 나타낸다. 즉, 중앙에서 시스템을 관리하는 관리자는 위의 최적화문제를 가지고 모든 고객이 만족할 수 있도록 가지고 있는 자원을 할당하려고 노력을 한다. 또한, 관리자는 거짓보고를 억압할 수 있는 효과를 지닌

벌칙을 부과하는 다음의 식도 계산을 한다.

$$\sum_{j \neq i} W_j(R_j^{VCG}) - \max_{R_i} \sum_{j \neq i} W_j(R_j) \text{ for } R_i = 0 \quad (2)$$

VCG라는 첨자가 붙은 R 값은 식(1)을 풀 때의 값들이다. N 개의 벌칙부과식을 풀고 난 후에 관리자는 벌칙 부과에 대한 정보를 전송하고 할당된 자원을 각각의 사용자에게 배분하게 된다. 전달 받은 정보를 바탕으로 각각의 고객은 다음과 같은 문제를 품으로써 자신에게 최적의 해를 구하게 된다.

$$\text{maximize } U_i(R_i^{VCG}) + \sum_{j \neq i} W_j(R_j^{VCG}) - \max_{R_i} \sum_{j \neq i} W_j(R_j) \text{ for } R_i = 0 \quad (3)$$

U_i 는 i 번째 고객이 보유하고 있는 실제 성능의 함수이다. i 번째 고객은 식(3)의 마지막 항에 대해 조절할 수 있는 사항은 없다. 이 부분이 시사하는 바는 만약 i 번째 고객이 자신이 보유하고 있는 실제 성능의 함수를 ($W_i=U_i$) 관리자에게 보고를 하게 된다면, 이미 식(1)에서 관리자는 식(3)을 최대화할 수 있는 값을 산정하게 된다는 점을 내포한다.

$$\sum_{i \in N} W_i R_i = U_i(R_i^{VCG}) + \sum_{j \neq i} W_j(R_j^{VCG}) \text{ for } U_i = W_i \quad (4)$$

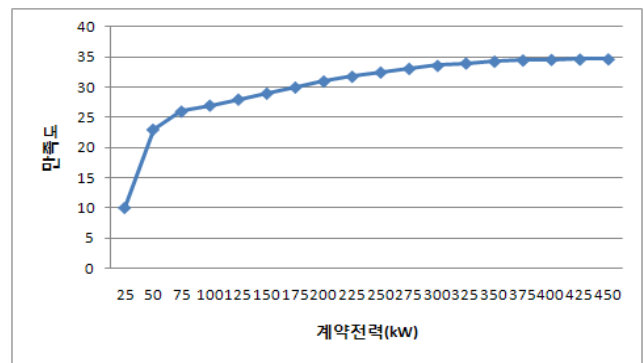
따라서 고객이 솔직하게 관리자에게 보고를 하는 것이 고객 자신에게나 전체 시스템 관점에서 최적의 해를 도출할 수 있다는 것을 보여준다.

2.2 VCG 방법론 초과요금 산정 적용

앞 장에서 소개한 VCG 방법론을 초과요금 산정 방법에 적용하는 내용을 제안한다. VCG 방법은 게임에 참여하는 참여자가 다른 사람의 상황을 알지 못하고 자신의 이익을 위해서는 거짓된 보고도 할 수 있는 상황에서도 벌칙 부과를 통해서 모든 참여자가 자신이 진정 필요한 자원을 요청하는 것이 최적임을 보여주는 방법이다. 전력사용자가 전력사용요금의 액수를 줄이기 위해 자신이 보유한 설비 및 필요한 전력용량보다 낮은 계약전력을 보고하면 이에 따른 초과요금 산정 방법을 VCG 방법론으로 적용하게 되면, 모든 고객들이 거짓이 포함되어 있는 계약전력을 보고하지 않고 진실한 계약전력을 보고하게 되고 또한 그렇지 않은 고객에게는 좀 더 세밀화 된 초과요금을 부과할 수가 있다. VCG 방법론을 적용했을 경우, 한전 쪽에서 고려하고 풀어야 할 문제는 다음과 같다.

$$\text{maximize } \sum_{i \in N} W_i(E_i), \text{ subject to } \sum_{i \in N} E_i \leq E_{SR} \quad (5)$$

W_i 는 i 번째 고객이 E_i 만큼의 전력을 할당 받을 경우 얻게 되는 만족도이다. 만족도의 적용 예는 그림1과 같다.



〈그림 1〉 계약전력 및 만족도 예시

예를 들자면, 무더운 여름에 필요 전력을 공급받아서 에어컨을 가동시킬 수 있다면 만족도가 올라갈 것이고, 원하는 만큼 전력을 받을 수 없다면 만족도가 떨어질 것이다. E_{SI} 는 한 번의 전력 서비스를 제공하는 동안에 전력회사 쪽에서 제공할 수 있는 총 전력량을 의미한다. N 은 해당 서비스 지역에서 전력을 공급받는 총 사용자의 수이다.

전력사용자들은 전력요금을 적게 지불하기 위해, 자신의 계약전력을 낮추어서 보고를 할 수 있다. 또는, 현재 초과요금에 대한 기준이 너무 과하다고 느끼는 사람들은 자신이 실제 사용하고자 하는 전력보다 높은 계약전력을 보고하여 차후에 계약전력을 초과하였을 경우 막대한 초과요금을 회피하려고하는 사람들도 존재한다. 이와 같은 현상을 억제하기 위한 기존의 초과요금 산정방법 보다 조금 더 효율적인 초과요금 선정 방법은 다음과 같다.

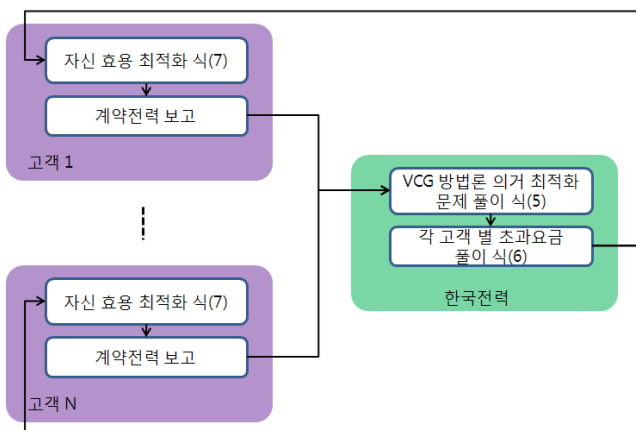
$$\sum_{j \neq i} W_j(E_j^{VCG}) - \max \sum_{j \neq i} W_j(E_j) \text{ for } E_i = 0 \quad (6)$$

첫 번째 항은 식(5)를 풀었을 때 전체 사용자가 얻게 되는 총 만족도에서 게임에 참여한 i 본인의 만족도를 뺀 만족도이다. 두 번째 항은 i 본인이 시작부터 게임에 참여하지 않았을 때의 다른 모든 고객들이 원하는 전력을 얻음으로 해서 얻는 만족도이다. 두 항의 차이가 의미하는 바는 i 본인이 게임에 참여함으로써 해서 시스템에 있는 다른 고객들에게 주는 피해를 시사한다. 다시 말해, i 자신이 이번 게임에 참여함으로써 해서 다른 고객들로부터 얼마만큼의 만족도를 빼앗아 가는지를 계산하는 부분이다. 이러한 VCG방법론의 벌칙 부과 방법으로 인해 전력을 획득하기 위해 계약전력을 보고하는 모든 고객들은 최종적으로 NEP(Nash Equilibrium Point)에 도달할 수 있다[1]. NEP는 1950년에 수학자인 내쉬가 제안한 개념으로써 비협력 게임을 가정하고 있다. 비협력 게임 속에서 게임에 참여한 모든 사용자들이 각자 자신의 최선이라고 생각하는 전략을 선택 하고 그 균형이 계속 유지 되는 상태를 의미한다.

한국전력은 식(5)의 결과와 식(6)의 초과요금에 대한 정보를 모든 고객들에게 알리게 되면 모든 고객들은 각자 식(7)을 해결하고자 노력하게 된다.

$$\text{maximize } U_i(E_i^{VCG}) + \sum_{i \neq j} W_j(E_j^{VCG}) - \max \sum_{i \neq j} W_j(E_j) \text{ for } E_i = 0 \quad (7)$$

2.1장에서 언급한 바와 같이 고객이 보고하는 만족도 W_i 와 고객이 실질적으로 얻는 만족도 U_i 가 같다면 한국전력 측에서 풀게 되는 식(5)에 의해 식(7)은 모든 사용자에게 대해 최적의 해를 이미 얻게 된다. 따라서, 각 고객들이 계약전력에 대한 사실적인 보고를 한전 측에 제공을 하게 된다면, 전체 전력 사용자들의 만족도는 늘 극대화가 된다. 이런 상태에서 각 고객들은 다른 전략을 선택하게 될 경우에는 자신뿐만 아니라 전체 시스템의 고객들에게도 피해를 주기 때문에 솔직한 보고라는 유일한 전략을 계속 유지하게 되어 결국에는 전체 시스템은 NEP에 도달하게 된다. 다음 내용을 정리한 전체 시스템 블록도는 다음과 같다.



〈그림 2〉 전체 시스템 블록도

3. 결 론

본 논문에서는 현재 한국전력에서 전력 기본요금을 설정하고 고객들이 계약전력을 보고하고 추가적으로 사용하는 전력에 대하여 초과요금을 계산하는 방법을 제안하였다. 몇몇 고객들은 전력사용요금을 적게 내기 위하여 계약전력을 실제 사용할 예상 전기량 이하로 보고를 하는 경향이 있고 이를 저지하기 위해 현재 한전에서는 초과요금 계산 방법을 채택하여 사용하고 있다. 본 논문에서는 현재 방법보다 조금 더 정교한 초과요금 계산 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 VCG 방법론에 의거한 방법으로써 전체 고객들이 자신이 정말 사용할 전기량을 예측하

여 계약전력으로 보고하는 방법이 최종적으로 전체 시스템의 만족도 총합을 극대화 하는 방법이라는 점을 보였다. 또한, 모든 고객들은 사실적인 보고만이 자신이 선택할 수 있는 최선의 방법임을 인지하게 되어 최종적으로 NEP에 도달하게 된다는 점에 대해 언급하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hyunggon Park and Mihaela van der Schaar, "Bargaining Strategies for Networked Multimedia Resource Management," IEEE Trans. Signal Process., vol. 55, no. 7, pp. 3496-3511, Jul. 2007.
- [2] W. Vickrey, "Counterspeculation, auctions and competitive sealed tenders," Journal of Finance, vol. 29, no. 3, pp. 407-435, 2004.
- [3] E. Clark, "Multipart pricing of public goods," Public Choice, vol. 2, pp. 19-33, 1971
- [4] T. Groves, "Incentives in teams," Econometrica, vol. 41, no. 4, pp. 617-631, 1973
- [5] F. Fu and M. Schaar, "Noncollaborative Resource Management for Wireless Multimedia Applications Using Mechanism Design," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 9, no. 4, June 2007
- [6] N. Semret, Market mechanisms for network resource sharing. PhD thesis, Columbia University, 1999
- [7] R. T. Maheswaran and T. Basar, "Social welfare of selfish agents: motivating efficiency for divisible resources," in Proceedings of 43rd IEEE Conference on Decision and Control, (Bahamas), December 2004.
- [8] S. Yang and B. Hajek, "Revenue and stability of a mechanism for efficient allocation of a divisible good," Preprint, 2005
- [9] R. Johari and J. N. Tsitsiklis, "Communication requirements of VCG-like mechanisms in convex environments," in Proceedings of Allerton Conference, 2005
- [10] S. Yang and B. Hajek, "VCG-Kelly Mechanisms for Allocation of Divisible Goods: Adapting VCG Mechanisms to One-Dimensional Signals," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 25, no. 6, August 2007
- [11] S. Shankar and M. van der Schaar, "Performance analysis of video transmission over IEEE 802.11a/e WLANs," IEEE Trans. Vehic. Technol., accepted for publication.
- [12] S. Boyd and L. Vandenberghe, Convex Optimization. New York: Cambridge Univ. Press, 2004
- [13] Rahul Jain and Jean Walrand, "An Efficient Nash-Implementation Mechanism for Divisible Resource Allocation", IEEE J. Sel. Areas Commun., 2007
- [14] A. Lazar and N. Semret, "Design and analysis of the progressive second price auction for network bandwidth sharing", Telecomm. Systems.
- [15] 한국전력 사이버지점: www.kepco.co.kr/cyber