

불완전한 수요 정보에 의한 실시간 요금

강동주, 김발호, 김정훈
홍익대학교

A Value-based Real Time Pricing Under Imperfect Information on Consumer Behavior

Kang, Dong-Joo Kim, Balho Kim, Jung Hoon
Hong-ik University

Abstract - This paper proposes a value-based pricing suitable for deregulation situation in electricity market, where the value is measured based on the service quality such as system reliability. The proposed approach makes it possible to maximize social welfare, in that diversified service can produce the optimal combination set of demand and supply. The proposed pricing can also be applied to a direct load control.

서비스를 원하는 소비자에 대해 교차보조하고 있는 셈이고, 시스템 기준보다 높은 신뢰도를 원하는 소비자의 경우, 요금은 그만큼 덜 지불하고 있지만, 자신이 원하는 서비스를 제공받지 못하는 결과를 초래하고 있는 것이다. 본 논문에서는 서비스 차별화를 허용하여, 규제 완화된 전력 시장에서 개별 서비스에 대한 진정한 가치를 반영할 수 있는 요율을 제안하고자 한다.

1. 서 론

과거 수십년간 전력 산업이 직면하고 있는 많은 변화들은 금융비용과 연료비용 상승이라는 경제적 흐름에 기인한다. 즉, 비용 상승으로 인한 전기 요금의 상승은 많은 소비자들의 불만을 누적시켰고, 이러한 문제를 해결하기 위해 발전부문에 경쟁이 도입되면서, 규제 완화의 추세가 가속화되고 있다. 이는 일부 회사들로 하여금 다양한 서비스를 제공하도록 하는 동기로 작용함으로써, 기존의 정치적, 사회적으로 결정되었던 전원 계획이 경제적, 기술적인 문제로 넘어가고 있음을 보여준다. 즉, 경쟁 도입으로 각 전기 사업자들은 보다 효율적인 경영과 신중한 투자 결정이 필요하게 되었다. 그 중에서 가장 중요한 문제는 다양한 서비스를 제공하는 전력 회사가 각 서비스에 맞는 '합당한(right)' 요금을 설정하는 것인데, 그 요율이 갖추어야 할 요건으로는 회사 수입의 타당성, 공급에 대한 응답성, 적정 경쟁 유지 기능 등이 있다.

2. 가치-기반 요금 설계 (Value-based Rate Design)

2.1 배 경

적절히 설계된 서비스란 사회 전체의 경제적 효율성을 달성할 수 있는 기능을 가져야 한다. 즉, 생산자와 소비자 두 주체가 동시에 획득할 수 있는 범위 내에서 최상의 만족도를 제공해 줄 수 있어야 한다. 규제 완화된 환경에서의 신뢰도란 고급 서비스에 대해 프리미엄을 지불할 용의가 있는(willingness-to-pay : WTP) 소비자를 겨냥하며, 그 수입으로 신뢰도 확보에 필요한 투자를 확보한다. 결과적으로 소비자간 교차보조는 감소할 것이며, 서비스의 진정한 가치를 반영한 요금의 부과됨으로써 사회 전체의 Pareto Optimal을 달성할 수 있을 것이다. 과거 수년간 혁신적인 요금 방안들이 제안되어 왔지만, 그 대부분은 동일한 신뢰도와 질적 기준을 가지는 단일 서비스에 국한된 것이었다. 서비스의 질적 수준, 신뢰도, WTP에 대한 소비자의 기호를 반영하지 않는 단일 서비스를 제공함으로써 사회 전체의 비효율적, 비경제적 에너지 배분을 초래하였다. 단일 서비스 체제에서는, 모든 소비자들이 자신의 의사와는 상관없이 통용되고 있는 정해진 신뢰도와 질적 기준에 맞추어 요금을 지불해야 한다. 결국 현재의 신뢰도 기준보다 낮은 신뢰도의 서비스를 원하는 소비자 입장에서는 높은 신뢰도의

2.2 선행 작업과 관련 문제.

가치-기반 요율은 1950년대에 일부 유럽 국가들에 의해 도입되었고, 시스템 최적화와 합리적 적용을 위해 정전비용(outage cost)을 수치화시키는 작업이 필요하다. 정전비용이란, 시스템으로부터 전력 공급이 중단되었을 때 초래되는 소비자의 손실을 보상하기 위해 도입된 개념으로서, 스웨덴, 노르웨이, 프랑스 등 주로 유럽 국가들에 의해 집중 연구되어 왔다[1]. 캐나다의 Ontario Hydro와 Sackatchewan Power Corp, 브라질의 Electrobras 등은 신뢰도를 경제적 가치로 수치화 시켰으며, 한국, 일본을 포함하는 일부 아시아 국가들도 1980년대 후반에 정전 비용의 평가와 적용을 위한 연구를 시작하였다. 미국의 경우에도 과거 15년 동안 정전 비용에 대해 수많은 연구가 수행되었지만, 대부분의 경우 그 범위와 깊이에 있어서 한계를 지니고 있다[2].

Siddiqi와 Baughman은 RTP와 priority pricing을 결합한 포괄적인 신뢰도 차별 요율(reliability differentiated pricing : RDP)을 제안하였다. 이 이론은 소비자의 정전비용을 현물 가격으로 채택했다는 점에서 새로운 면이 있지만, 동시에 정전비용과 소비자 행동에 대해 명확하지 못한 다수의 가정들을 전제하고 있다는 약점을 가지고 있다. RDP의 핵심은 신뢰도를 경제적 가치로 정량화함에 있어 정전비용을 도입했다는 점으로, 공급 부족시 정전비용을 최소화하기 위해 소비자들은 별도의 수요곡선을 형성한다는 것이다. 지속적인 전력 공급을 원하는 소비자의 경우 높은 프리미엄을 반영하는 또 하나의 수요곡선을 형성한다는 것이다. 그러나, 정전보다 높은 가치로 평가된 서비스에 대한 별도의 수요곡선을 그릴 경우, 왜 소비자가 그 곡선을 따라 행동하게 되는지에 대한 명확한 이유를 제시하지 못하고 있다. 게다가, 신뢰도를 어떻게 차별화하고, 이것을 요금에 어떻게 반영할 것인가에 대한 해답도 제시하지 못하고 있다[3].

2.3 가치-기반 요율의 주요 특징

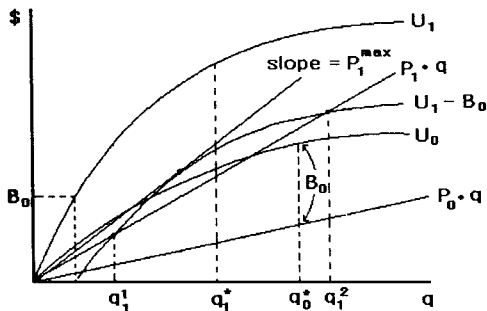
이 요율의 중심적인 특징은 최적의 사회적 효용을 유도하기 위해 개인 혹은 개별 집단의 효용함수(utility function)에 기초하여 서비스의 질적 수준을 다양화시킨다는 점이다. 서비스 질에 대한 다양한 선택이 가능하기 때문에, 소비자는 필요한 양(quantity), 요금(price), 질(quality)에 대한 최적의 조합을 선택할 수 있게 된다. 소비자 행동에 대한 전통적인 가정하에서 이와 같은 Self-selecting tariff는 사용자나 감독 기관 모두의 잉여를 증가시키고, 궁극적으로 Pareto Opti

-mal을 달성할 수 있게 한다.

2.4 효용함수와 요율

일반적으로, 소비자가 서비스로부터 얻게 되는 가치나 만족도는 기수적인 효용함수로서 표현될 수 있는데, 그러한 경제적 효용 개념은 소비자들 스스로 만족도가 최대치가 되도록 여러 상품들에 적절한 소득 배분을 할 것이라는 가정을 바탕으로 한다. 주어지는 소비 패턴에 대응하여, 만족도의 절대적 수치를 객관적으로 정량화하는 것은 거의 불가능하지만, 특정 품목에 대해 소비자가 판단한 경제적 가치를 표현하는 것은 개별 소비자의 수요 수준(WTP : willingness-to-pay)이라 한다.

효용이란 정적인 개념이 아니라, 시장 가격과 유용성 같은 단기 변화나 생활양식, 취향, 기대치, 기술, 인구 통계학 등의 장기 변화에 따라, 또는 시스템 신뢰도나 서비스의 질적 수준에 따라 변화할 수 있는 동적 개념으로, 상품이나 서비스에 대한 소비자의 만족 정도를 나타내는 값이다. 본 논문에서는 이 효용 함수가 요금에는 영향을 받지 않으며, 오직 소비량과 質的 수준에만 종속된다고 가정한다. 그러므로, 소비량을 고정치로 두면, 효용은 서비스의 질적 수준에 대해서만 변동한다.



<그림 1> 효용함수

<그림 1>은 신뢰도 수준에 따라 효용함수가 어떻게 변하는가를 보이고 있다. 그림에서 q_0^* 은, 요금 p_0 에서 효용 함수 U_0 을 가지는 소비자가 순이익 B_0 을 가지는 수요 지점을 나타낸 것이다. 요금이 p_0 일 때 소비량 (q_1^* , q_2^*)의 범위 내에서 U_1 을 선택함으로써 얻게 되는 소비자의 효용 이득은 U_0 선택시보다 커지게 된다.

2.5 질적 차별화의 효과

서비스의 품질이 임의의 신뢰도 r 로 정해졌다고 가정하면 효용과 비용은 모두 서비스의 질적 수준에 종속된다. 그러면 q 의 소비를 가지는 social welfare 함수는 다음과 같다[4].

$$W(q, r) = U(q, r) - C(q, r) \quad (1)$$

신뢰도가 높을수록 효용이 증가하므로, $\partial U/\partial r > 0$ 이며, 생산량이 많을수록 비용 또한 증대하므로 $\partial C/\partial r > 0$ 이 된다.

전력 회사와 소비자의 효용을 동시에 극대화시켜야 하므로,

(전력 회사)

$$\text{Max}_{q, r} : \Pi = p(q, r)q - C(q, r) \quad (2)$$

(소비자)

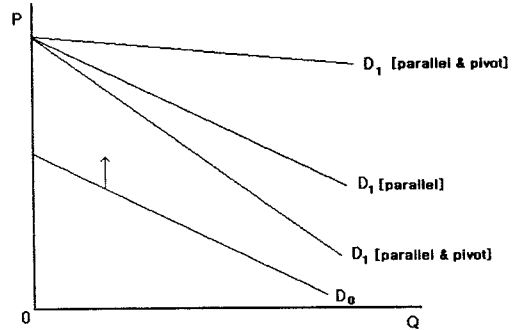
$$\text{Max}_{q, r} : B = U(q, r) - p(q, r)q \quad (3)$$

(2), (3)을 각각 q , r 에 대해서 미분하여 (1)식의 미분

형에 대입하면, (2), (3)의 해에 대한 조건이 도출된다 (여기서는 (2)의 경우만 보임)

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q} = p + \frac{\partial p}{\partial q} q - \frac{\partial C}{\partial q} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial r} = \frac{\partial p}{\partial r} q - \frac{\partial C}{\partial r} = 0 \quad (5)$$



<그림 2> 수요곡선변동유형

(4), (5)를 (1)식의 미분형에 대입하면

$$\frac{\partial W}{\partial q} = -\frac{\partial p}{\partial q} q \quad (6)$$

$$\frac{\partial W}{\partial r} = \frac{\partial U}{\partial r} - \frac{\partial p}{\partial r} q = \frac{\partial U}{\partial r} - \frac{\partial C}{\partial r} = \frac{\partial B}{\partial r} \quad (7)$$

2.6 요율 메카니즘

본 논문에서 제안하는 요율은 self-selecting tariff와 전통적인 RTP를 결합시킨 형태로서 다음과 같은 최대화 문제로 표현된다.

$$\text{Max}_{r, p, q} : \sum_{i=1}^n k_i CS_i \quad (8)$$

여기서 n 은 소비자, k_i 는 가중 계수, (r, p, q) 는 서비스 수준, 소비량, 요율의 조합을 나타낸다. 또한 소득효과 (income effect)를 무시하기 위해 효용함수는 quasi-linear하면서 concave하다고 가정한다.

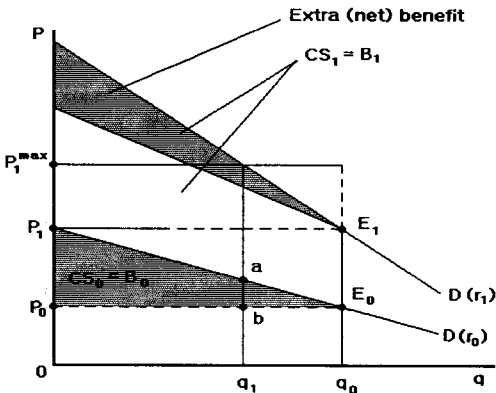
2.6.1 용량 부족시의 요율

시스템의 용량이 부족하여 일시적으로 부하의 일부를 차단하여야 하는 상황일 때 새로운 요율이 어떻게 하면 효율적으로 적용될 수 있는지에 대해 고찰해본다. 공급이 부족한 경우, 그로 인한 정전은 소비자 잉여를 감소시킬 수 있고, 더 나아가 추가적인 정전비용을 초래하기도 한다. 우리의 주된 관심은 다양화된 품질의 서비스를 제공하는 환경에서 단기적인 소비자 행동이 어떤 패턴을 보일까하는 것이다.

<그림 3>은 r_0 , r_1 두 가지의 신뢰도에 대한 소비자의 수요 곡선을 나타내고 있고, E_0 는 신뢰도 r_0 에서의 균형점을 나타낸다. 수요곡선 $D(r_1)$ 은 신뢰도 r_1 에서 소비자의 WTP 수준을 표현한 것인데, 이 경우에 q_1 은 (3)식에 의해 결정된다.

$D(r_0)$ 의 소비자에게 있어서 영역 'abE₀'는 공급이 q_1 에 그칠 때 소비자 잉여의 손실분을 나타낸다. 경우에 따라 부대적인 추가 비용이 초래될 수 있다. 이 경우에 우리의 관심은 서비스 지속을 위해 소비자가 현재의 요금보다 높은 요금을 지불할 용의가 있는가 하는 것이다. $D(r_0)$ 이 신뢰도 r_0 의 전력 공급에 대한 소비자의 최대 WTP를 나타낸다는 사실을 추론하기 전에 먼저 주지하

여할 것은, 효용을 극대화의 결정을 할 수 있을 만큼 충분히 현명한 소비자(wise consumer)를 전제한다는 것이다. 즉, '정전비용'은 이미 수요 곡선에 정확하게 반영되어 있으며, 이 선택은 소비자에게 있어 최적의 선택이므로, 더 이상 논란의 대상이 되지 않는다.



〈그림 3〉 소비자 잉여의 변화

그렇다면, 만약 소비자가 정전비용을 회피하기 위해 보다 많은 요금을 지불할 용의가 있는 경우의 최적 요금은 어떻게 될까? 일단 그 소비자는 현재보다 높은 신뢰도의 서비스를 원하고 있으므로, 〈그림 3〉에서 보듯이 $D(r_1)$ 와 같은 수요 곡선을 그릴 것이다. 이 경우에 수요량을 고정시키면 소비자의 WTP p_1 는 다음과 같이 표현 가능하다.

$$p_1 = p_0 + \frac{1}{q_0} (r_1 - r_0) \frac{\partial U}{\partial r} - \frac{1}{q_0} (B_1 - B_0) \quad (9)$$

여기서,

$$\frac{\partial U}{\partial r} = r_0 \text{에서의 한계 효용}$$

$$(r_1 - r_0) \frac{\partial U}{\partial r} = \text{신뢰도 변화에 대한 이득}$$

$$B_0 = r_0 \text{에서의 소비자 순이득}$$

$$B_1 = r_1 \text{에서의 소비자 순이득.}$$

그러므로 전력회사는 $p_0 \leq p_1 \leq p_1^{\max}$ 의 범위에서 요금을 설정하며, 여기서 p_1^{\max} 라는 것은 전력 회사가 설정할 수 있는 최대가격이다. 수요곡선 $D(r_1)$ 으로 이동하는 소비자는 서비스에 대한 가치 평가가 높다는 것을 나타내는 것이다. 달리 말하면, r_1 보다 열등한 단일 서비스만이 존재한다고 가정하면, 이 소비자는 그의 잠재적 효용 이득을 상실하는 것이고, 그 손실분은 r_1 수준의 서비스만 제공되면 얼마든지 보상받을 수 있는 부분이다. 그러므로 r_0, r_1 중 r_1 을 택한 소비자는 높은 신뢰도에 대한 프리미엄을 기꺼이 지불할 것이다.

2.6.2 수익 보정(revenue reconciliation)

전력사업은 규제를 받는 공공사업이므로, RTP에 의한 수입이 회사 운영에 필요한 최소치를 보장할 수 있어야 한다. RTP에 의한 수입이 기존의 평균 비용 효율에 의한 보장되는 수입과 일치하기는 어렵기 때문에 지나치게 높거나 낮은 요금이 초래되지 않도록 적절한 조정을 가해야 한다[5]. 소비자 i 가 서비스의 수준(r)을 바꿈으로써 얻게 되는 잉여의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta CS_i = \int_{q_{i-1}}^{q_i} D_i^{-1}(q; r_1) dq - \int_0^{q_i} D_i^{-1}(q; r_0) dq \quad (10)$$

여기서,

$q_i =$ 최적수요

$D_i^{-1}(r_i) =$ 신뢰도 r_i 에서 소비자 i 의 수요 함수

$m =$ 신뢰도 수준

$CS =$ customer surplus

그러므로 보정되어야 할 수익은 다음과 같다.

$$R = C_f - \sum_i a_i \Delta CS_i \quad (11)$$

여기서,

$C_f =$ 전력 회사의 총고정 비용

$a_i =$ 소비자 i 로부터 전력회사로 이전되는 ΔCS_i 의 비율

$$0 \leq a_i \leq 1.$$

3. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문의 목적은 서비스의 질적 기준을 달리함으로써 소비자 행동에 대한 명확한 정보 없이도 social welfare를 최대화할 수 있는 RTP를 구현하는 것이다.

본 논문에서 제안한 효율이 가지는 장점으로서는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 서비스에 대한 개별 소비자의 가치 판단 기준으로 효용함수를 채택하였기 때문에 전력 회사가 소비자에게 정확한 가격 신호를 보낼 수 있고, 효율, 설비 투자 결정 문제, DSM 등을 조화롭게 운영할 수 있도록 한다.
- 2) 소비자들이 차별화된 여러 계층의 서비스를 스스로 선택하여 그에 합당한 요금을 지불하는 방식이기 때문에 특정 소비자에게 불이익이 돌아가지 않는다.
- 3) 공급 부족시 소비자 선택에 기초한 새로운 균형점이 도출되므로 social welfare의 손실이 발생하지 않는 시스템 운영상의 융통성을 가지게 된다.
- 4) 개별 소비자들이 다양한 신뢰도의 서비스에 반응하는 효용함수를 채택함으로써, 기존의 priority pricing에서 필요했던 빈번한 입찰 과정을 생략할 수 있다.

적절한 통신 인프라가 구축된 환경이라면 3), 4) 항목은 실시간 상에서 DLC에 적용될 수 있고, 적용시 기존의 효율에서 필요했던 congestion 요금이나 부하 차단 보상금이 더 이상 필요 없게 된다.

본 논문에서 제안된 효율이 성공적으로 적용되기 위해서는 서비스의 품질과 신뢰도에 대한 소비자들의 기호가 정확히 반영되어야 하며, 모든 소비자가 효율에 불만이 없도록 명확한 근거가 제시되어야 한다.

이를 위해서 다음의 주제에 대해서는 앞으로도 지속적인 연구가 필요하다.

- 1) 서비스의 질적 기준을 어떻게 다양화시킬 것인가?
- 2) 정확한 소비자 효용함수를 도출할 수 있을 것인가?
- 3) 이 효율을 RTP에 어떻게 적용할 것인가?
- 4) 이 효율이 시스템 신뢰도 적용과 투자 결정에 어떤 방식으로 채택될 수 있을 것인가?

〔참 고 문 헌〕

- [1] Besanco, D. and Winston : "Optimal Pricing Skimming by a Monopolist facing Rational customers," Management Science 38, 555-567 (1990)
- [2] Willson, R.B. : "Ramsey Pricing of Priority Service," Journal of Regulatory Economics 1, pp.189-202 (1989b)
- [3] Baughman, M.L. and Shams N.S. : "Reliability Differentiated Real time pricing of Electricity" 92WM 115-6 PWRs, IEEE (1992)
- [4] Varian, H.R. : "Microeconomic Analysis", Norton & Company, 3rd Edition (1992)
- [5] Kim, B. H. , Baughman, M.L. : "The Economic Efficiency Impacts of Alternatives for Revenue Reconciliation." IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3 (1997)