

수요함수를 고려한 송전비용 산정방안에 관한 연구

유청일 정구형 신영균 한석만 김발호
홍익대학교 전자전기공학부

Transmission Pricing in consideration of Demand Function

Yoo, Chongil, Jung.G.H. Shin.Y.G. Han.S.M, Balho.H.Kim
Hongik Univ. School of Electrical Engineering

Abstract - It is required to develop a rational transmission pricing methodology to ensure the fair participation of the player in the market. Because of economic efficiency, marginal pricing method has been studied to be applied to transmission pricing methodology. In application of marginal pricing method to transmission pricing, revenue reconciliation must be needed to recover Transco's revenue requirements. This paper presents a reconciliation method based on line's value to transmission service users.

1. 서 론

전력산업분야에 경쟁을 도입함에 따라 새로 중요시되고 있는 요소 중의 하나가 송전선 이용료이다. 송전선 이용료는 많은 시장참여자들이 공유하는 송전설비에 대한 비용을 회수하기 위해 시장참여자에게 할당하는 요금으로 송전회사는 이를 합리적인 방법으로 산정함으로써 시장참여자들에게 적절한 경제적인 신호를 제공하여 그들의 의사결정에 왜곡을 주지 않아야 한다. 또한 송전선 이용료는 시장참여자들이 동등한 조건에서 전력거래에 참여할 수 있는 환경을 제공해야 한다.

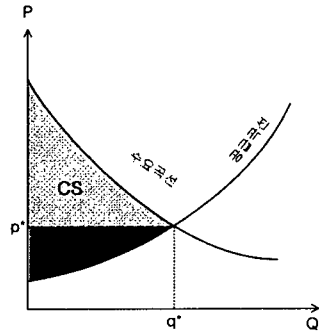
이러한 송전비용산정기법은 크게 총괄비용법과 한계비용법으로 나눌 수 있다. 총괄비용법은 송전회사 필요수입의 완전한 회수를 목적으로한 방법으로 우편요금제, 거리용량병산제, 경로선정법 등이 있으며, 필요수입의 완전한 회수가 보장된다는 장점이 있으나, 경제적 신호를 제공하지 못해서 공평성의 문제를 야기시킨다. 반면에 한계비용법을 적용할 경우, 시장참여자들에게 송전서비스에 대한 정확한 경제적 신호를 줄 수 있지만, 일반적으로 필요수입의 회수가 보장되지 않는다. 따라서, 송전비용 산정에 한계비용법을 적용하는 경우 필요수입 회수 측면에서 수익보정을 거쳐야 한다. 지금까지 송전비용산정에 한계비용법을 적용하는 방법과 효율적인 수익보정에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 수익보정의 한 방법으로 각 송전선로가 시장참여자에게 주는 가치에 근거하여 부가비용을 할당하는 방법을 제안한다.

2. 본 론

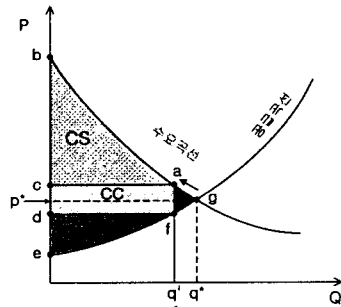
2.1 시장가격과 송전혼잡

경제학적으로 다른 재화와 마찬가지로, 발전사업자의 공급곡선과 소비자의 수요함수를 이용하여 거래전력 및 가격을 결정할 수 있다. (그림 1)의 그래프에서 p^* , q^* 는 시장균형점이며, p^* 는 균형시장가격, q^* 는 균형거래량이다. 이 경우, 모든 모션에서의 가격은 동일하며, 사회후생은 최대가 된다.



(그림 1) 수요공급곡선

하지만, 전력은 발전사업자로부터 송전계통을 통해 소비자에게 공급되며, 송전계통의 특성상 혼잡(Transmission Congestion)이 발생한다. 일반적으로 어떤 거래상황에서 송전혼잡이 발생하면, 1) 선로의 제약에 의한 거래량 조정(혼잡해소를 위해 고비용 발전기의 투입), 2) 급전가격 상승에 의한 소비감소에 의해서 사회후생은 감소한다.



(그림 2) 송전혼잡에 의한 사회적 잉여의 감소

(그림 2)에서 송전제약을 고려하지 않은 경우의 균형가격과 거래량은 p^* , q^* 과 같다. 이 때, 소비자 잉여는 $b-p^*-g$ 의 면적이고 발전사업자의 잉여는 p^*-e-g 의 면적이다. 즉, $b-e-g$ 의 면적이 사회적 잉여이며 이를 최대로 함으로써 균형가격 및 거래량이 결정된다. 하지만, 특정설비에 혼잡이 발생하는 경우, 고비용 발전기의 투입에 의해 급전가격이 상승하며 거래량은 q^* 에서 q^1 으로 감소한다. 소비자 잉여는 $a-b-c$ 로 감소하고, 발전사업자의 잉여는 $d-e-f$ 의 면적으로 감소한다. $a-f-g$ 는 혼잡에 의한 사회적 순손실(deadweight loss)이며 $a-c-d-f$ 는 혼잡비용이 된다. 일반적으로 혼잡에 의해 발생하는 혼잡비용은 송전회사의 수입으로 귀속시켜 필요수입의 일부로 충당한다.

(표 1) 혼잡의 유무에 따른 거래량 및 가격비교

	혼잡이 없는 경우	혼잡이 있는 경우
CS	b-p*g (1)	a-b-c (3)
PS	p*e-g (2)	d-f-e (4)
CC	0	a-c-d-f
DL	0	a-f-g

2.2 수요함수를 고려한 최적조류계산

본 연구에서는 소비자가 가격에 의해 수요량을 결정하므로, 발전비용을 최소화하는 최적조류계산과는 다른 형태를 가진다. 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{MAX Social Welfare} && (a) \\
 & \text{s.t. } \sum_i Q_i = \sum_j G_j && (b) \\
 & |f^k| \leq f_{\text{capacity}}^k && (c) \\
 & G_j = f(P_j) && (d) \\
 & Q_i = g(P_i) && (e)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, 제약조건 (b)는 수급균형식, (b)는 선로제약식이며, (d)(e)는 가격에 의한 발전량 및 수요량을 나타낸다(P_i 는 시장참여자 i 가 직면하는 가격). 본 문제는 사회후생을 극대화하는 발전기 출력 및 수요량을 결정하는 최적화 문제가 된다.

본 문제를 이용하여 구한 한계송전수입은 다음과 같다.

$$MR = \sum_k \rho_k (d_k - g_k) \tag{2}$$

여기서, ρ_k : 모선-k의 모선한계비용
 d_k : 모선-k에서의 수요
 g_k : 모선-k에서의 발전량

필요수입 회수를 위해 필요한 추가비용은 다음과 같다.

$$RS = RR - MR \tag{3}$$

여기서, RS : 필요수입부족액
 RR : 총 필요수입
 MR : 한계비용법으로 회수한 송전비용

2.3 필요수입부족액의 할당

일반적으로, 송전비용산정에 한계비용법을 적용하는 경우 총 필요수입의 20%~30%정도만을 회수할 수 있다고 알려져 있다. 따라서, 한계비용법을 적용하는 경우 비용의 완전한 회수를 위해 수익보정을 거쳐야 한다. 수익보정은 필요수입부족액을 충당하기 위해 추가비용을 계산하여 각 참여자에게 비용을 할당하는 과정이다. 이는 완전한 비용회수를 목적으로 하며, 한계비용법의 경제적 효율성을 최대한 반영해야 한다.

일반적으로 알려진 수익보정의 방법으로는 "adder", "multiplier", "reliability sensitive adder", "elasticity sensitive adder", "extent of use" 등이 있다. 본 연구에서는 어떤 선로가 존재함에 따라 시장참여자자의 잉여에 미치는 영향을 평가하고, 이를 근거로 추가비용을 부과하는 방법을 제안한다.

각 시장참여자자에게 부과하는 추가비용 최적조류계산을 수행하여 한계비용법에 근거한 송전비용(MR)을 계산한

다. 필요수입(RR)과 계산된 한계수익을 이용하여 필요수입부족액(RS)을 계산한다. 여기서 계산된 필요수입부족액은 basecase에서의 선로조류량에 비례하여 할당한다. 즉,

$$RS^k = \frac{f_{\text{base}}^k}{\sum_i f_{\text{base}}^i} \tag{4}$$

여기서, RS^k : 선로-k에 할당되는 추가비용
 f_{base}^k : basecase에서의 선로-k의 조류

또한, 시장참여자 i 의 잉여(S_i)를 구한다. 그런 후, 각 선로가 시장참여자 i 의 잉여에 기여하는 비율을 구하기 위해서 선로를 제거하고 다시 최적조류계산을 수행하여, 선로가 유무에 따른 참여자의 잉여차이를 구한다. 선로-k가 시장참여자 i 의 잉여에 미치는 영향은 다음과 같다.

$$SIF_i^k = S_i^{\text{base}} - S_i^{\text{line-k off}} \tag{5}$$

여기서, S_i^{base} : basecase에서의 시장참여자 i 의 잉여
 $S_i^{\text{line-k off}}$: 선로-k를 제거했을 때의 잉여

그리고, 필요수입부족액(RS^k)을 다음과 같이 할당한다. 시장참여자 i 에게 할당되는 추가비용은,

$$RSC_i^k = \frac{SIF_i^k}{\sum_j SIF_j^k} \times RS^k \tag{6}$$

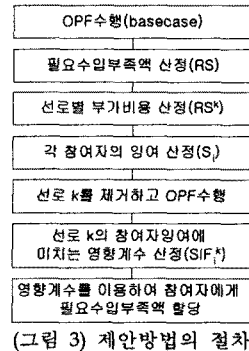
여기서, RSC_i^k : 시장참여자 i 에게 부과되는 선로-k에 대한 추가비용(단, $SIF_i^k, SIF_j^k > 0$)

최종적으로, 시장참여자 i 가 송전회사에 지불해야 하는 총 추가비용은 다음과 같다.

$$RC_i = \sum_k RSC_i^k \tag{7}$$

여기서, RC_i : 시장참여자 i 에게 할당되는 추가비용

이를 요약하면 다음과 같다.



2.4 사례연구

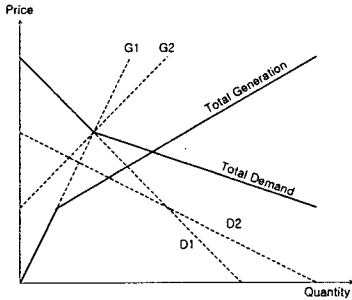
사례연구 계통은 (그림 5)에 제시한 4모선, 5선로 계통이며 편의상 발전사업자 및 소비자의 공급 및 수요함수는 선형이고 DC계통이라 가정하였다. 가격에 대한 각

참여자의 공급 및 수요량은 아래의 표와 같다. 본 연구에서는 발전사업자의 한계비용곡선을 공급함수로, 가격에 의해 수요를 결정하는 소비자의 구매의사를 수요함수로 나타내었다. 송전계통의 필요수입(RR)은 \$150이다.

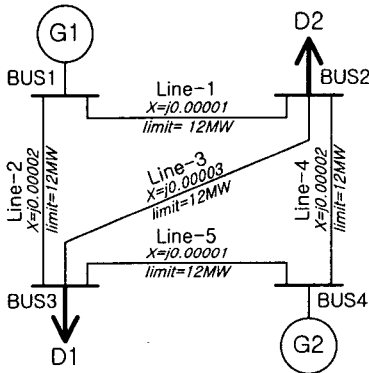
(표 1) 각 참여자의 수요량

	G1	G2	D1	D2
Q	$0.5Pr_{G1}$	$Pr_{G2}-20$	$-Pr_{D1}+60$	$-2Pr_{D2}+80$

(Pr_i : 참여자 i 에 할당되는 가격)



(그림 4) 각 참여자의 가격에 대한 거래량



(그림 5) 예제계통

정상상태에서의 송전한계수익(MR)은 \$41.373으로 구해졌다. 따라서, 필요수입부족액은 \$108.627로 구해졌다. 이를 이용하여 구한 선로당 부가비용은 (표 2)와 같다.

(표 2) 선로조류와 선로당 부가비용

	line1	line2	line3	line4	line5
선로조류(MW)	9.365	8.625	2.628	2.065	12
부가비용(\$)	29.33	27.01	8.23	6.47	37.58

다음으로, 각 선로를 하나씩 제거했을 때, 참여자의 잉여차이는 (표 3)과 같다. 표를 살펴보면, 선로-1이 존재하므로써 발전사업자-1이 얻는 잉여는 약 179임을 알 수 있다.

(표 3) 선로가 참여자의 잉여에 미치는 영향

	line1	line2	line3	line4	line5
G1	179.664	179.664	-5.904	-10.703	53.069
G2	-45.582	32.441	15.372	26.918	26.918
D1	5.863	137.166	40.417	-4.086	98.631
D2	10.371	6.379	-3.839	7.616	-5.216
line가치	150.316	355.650	46.046	19.745	173.402

마지막으로 각 시장참여자가 지불하는 부가비용은 (표 4)와 같다. 선로-1에 대해, 발전사업자-1이 다른 참여자에

비해 많은 비용을 지불함을 알 수 있다. 또한, 소비자-1이 선로-5에 대해 많은 부가비용을 지불함을 알 수 있다. 본 방법은 선로가 존재함으로써 발생하는 잉여가 큰 사업자에게 많은 비용을 부과하기 때문이다. 또한, 잉여의 크기가 작은 시장참여자에게는 비용을 적게 부과하고 잉여의 크기가 큰 시장참여자에게 비용을 많이 부과함으로써, 일률적으로 비용을 부과(Uniform pricing)할 때보다 효율적인 거래가 되도록 한다.

(표 4) 각 참여자 지불하는 부가비용

	line1	line2	line3	line4	line5	부가비용
G1	26.900	13.646	0.000	0.000	11.167	51.713
G2	0.000	2.464	2.268	5.041	5.664	15.437
D1	0.878	10.418	5.963	0.000	20.753	38.013
D2	1.553	0.485	0.000	1.426	0.000	3.464

3. 결 론

한계비용법은 경제적 효율성 측면에서 총괄비용법에 비해 뛰어나다 할 수 있으나, 비용회수가 보장되지 않으므로 수익보정이 필요하다. 수익보정은 한계비용법의 장점인 경제적 효율성을 해치지 않으면서 비용회수를 보장하는 방법이어야 한다. 본 연구에서 제안한 방법은 각 선로가 참여자잉여에 주는 영향에 비례하여 부가비용을 산정함으로써 경제적 효율성을 해치지 않는 범위에서 필요수익의 회수를 도모한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Steven Stoft, "Power System Economics", IEEE/Wiley, Feb. 2002
- [2] Balho. H. Kim, "The Economic Efficiency Impacts of Alternatives for Revenue Reconciliation", IEEE Transaction on Power System, Vol. 12, No. 3, p1129-p1135, August 1997
- [3] 허돈, 김발호, 박종근, "경쟁적 전력시장 하에서의 최적조류계산 응용에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 50A권 8호, p379-p387, 2001년 8월
- [4] Martin L. Baughman, Shams N. Siddiqi, Jay W. Zarnikau, "Advanced Pricing in Electrical Systems - Part I : Theory", IEEE Transaction on Power System, Vol. 12, No. 1, p489-p495, February 1997
- [5] 김발호, 박종배, "송전선이용료 산정기법"