

계통신뢰도를 반영한 송전선 이용료의 산정

유청일 신영균 김발호 원영진*
 홍익대학교 한국전력공사*

Transmission Pricing for System Reliability

Chong-Il YOO Young-Gyun SHIN Balho H. KIM Young-Jin WON
 Hongik Univ. KEPCO*

Abstract - It is required to develop a rational transmission tariff structure to ensure the fair participation of the player in the market where transmission sector remains as a monopoly after the electricity industry restructuring. The objective of this study is to suggest an improved transmission rate system which classified the line capacity into line usage and reliability capacity based on their purpose of use and reasonably allocates the costs incurred by each of them to users.

2. 본 론

2.1 신뢰도비용

송전선 이용료는 선로의 사용량을 기반으로 한 계통사용료와 계통의 원활한 운용을 위해 확보해야 하는 여유용량을 기반으로 한 신뢰도비용으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 선로용량과 사용용량과 신뢰도를 고려한 예비용량으로 나누어 각각 용량에 대해 비용을 산정하여 시장참여자들에게 할당한다. 그리고, 각 참여자들은 선로사용료와 신뢰도요금을 합산한 송전요금을 지불하게 된다. 이 방법을 이용하기 위해 개별발전기의 선로사용률을 구해야 하는데 이는 기존에 연구되었던 PFCM[4]을 응용하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 전력산업 구조개편이 진행되면서 전력산업은 수직독점적 체계에서 경쟁체제로 바뀌고 있다. 경쟁체제로의 진입에 있어서 무엇보다 중요한 것은 전력시장 내의 모든 사용자들이 동등한 조건에서 전력거래에 참여할 수 있는 환경을 제공하는 것이다. 이러한 관점에서 경쟁적 전력시장이 구성된 이후에도, 독점부분으로 남게 되는 송전계통의 운용에 있어, 송전선 이용료는 시장참여자들에게 대단히 중요한 의미를 갖게 된다.

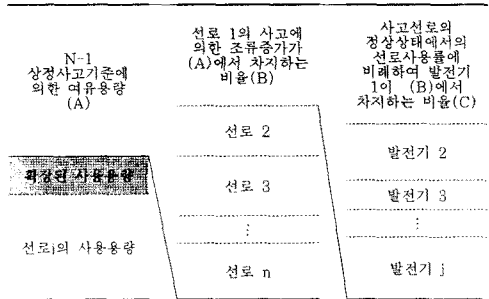
2.2. 새로운 신뢰도비용 산정방법

본 연구에서는 선로의 여유용량을 탈락된 선로를 사용하고 있던 사용자의 사고 전 사용률에 비례하여 배분함으로써 신뢰도비용을 회수하는 방법을 제안한다. 이러한 방법을 통해서 각 선로의 신뢰도 유지를 위한 여유용량에 대해 개별참여자들이 책임져야 할 용량을 알 수 있다. 계통을 이루는 선로의 개수가 n, 발전기의 개수가 j 라면 특정선로 i의 여유용량을 각 발전기에게 그림 1과 같이 배분한다

송전선 이용료 산정에 대한 최근의 연구동향은 송전선 이용료에 계통신뢰도에 대한 고려를 포함하고 있다. 신뢰도를 요율에 반영하는 방법과 절차는 여러 가지 있지만 어떤 경우든 합리적이면서 고정비의 회수가 가능한 방법을 목표로 하고 있다. 이러한 연구에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

Yu는 투자비 회수를 목적으로, 개별 송전선 사용에 대한 신뢰도 이득을 송전선 이용료에 반영하고 있다[1]. 하지만, 신뢰도 이득을 계산하는 방법에서 개별 송전선의 여유용량을 고려하지 않고 있다.

Silva는 신뢰도에 확률적인 개념을 도입하여 송전선 이용료를 산정하는 방법을 제안하고 있다[2]. 이 방법에서는 정상상태와 상정사고상태에 대해 전력직거래(wheeling)가 있는 경우와 없는 경우를 고려하여 각각의 경우에 대한 신뢰도를 계산한 후, 이를 송전선 이용료에 반영함으로써 비용을 회수하는 방법이다.



그 밖에 UMIST에서 제안한 송전선이용료 산정방법은 전력조류의 비례배분 가정을 통해 네트워크 토폴로지를 이용하여 비용을 배분하고 있으나 신뢰도비용 자체를 분리하여 구분하고 있지는 않다[3].

이와 같이 기존의 송전선 이용료 산정방법은 실제 사용량에 근거하여 계통여유용량에 대한 비용을 산정하거나 모든 계통사용자에게 동일하게 부과하고 있다. 이는 설비증설을 유발하는 부분에 대해 신뢰도비용을 부과하는 것이 아니기 때문에 합리적인 방법이라 할 수 없을 것이다.

그림 1. 특정 선로 i의 신뢰도 여유용량을 개별참여자에게 배분하는 절차

본 논문에서는 새로운 방법으로 계산되는 신뢰도비용의 할당을 중심으로 송전선 이용료를 산정하는 방법에 대해 살펴보고자 한다.

먼저 Base case에 대한 N-1 상정사고 기준에 근거하여 개별선로의 여유용량(Reliability margin)(A)을 구하고 각각의 사고선로가 여유용량에서 차지하는 비율(B)을 구한 후 마지막으로 개별발전기가 각 선로에서 차지하는 비율(C)을 구한다. 그 다음, 각 선로별로 신뢰도비용을 미리 계산한 C를 이용하여 할당한다.

디에도 포함되지 않는 부분이 발생하게 된다. 이 부분은 제통의 부하수준이 지속적으로 변화하기 때문에 발생하는 부분이므로 이 부분을 확장된 사용용량으로 정의하고 선로사 사용자들에게 사용량에 근거하여 비용을 할당한다.

2.2.1 각 선로의 여유용량

각 선로에 대한 N-1 상정사고를 고려하여 각 선로의 조류변화량을 관찰한다. 이는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta PFC_{i,k} = PFC_{i,k} - PFN_i \quad (1)$$

여기서,

- $\Delta PFC_{i,k}$: 선로 k 탈락시 선로 i의 조류변화량
- $PFC_{i,k}$: 선로로 k 탈락시 선로 i의 조류량
- PFN_i : 정상상태에서 선로 i의 조류량.

정상상태의 조류에 대한 선로사고시의 변화량을 살펴보면 식 (2)와 같다. 이는 다른 선로의 사고에 대한 해당 선로의 신뢰도를 보이고 있다.

$$c_{i,k} = \frac{\Delta PFC_{i,k}}{PFN_i} \quad (2)$$

여기서,

- $c_{i,k}$: 정상상태의 조류량에 대해 선로 k의 탈락에 의해 발생한 조류변화량의 상대적 크기의 비율
- $\Delta PFC_{i,k}$: 선로 k 탈락시 선로 i에 조류증가량
- PFN_i : 정상상태에서 선로 i의 조류량.

이 방법을 사용하는 경우 다른 선로에 비해 상대적으로 작은 조류가 흐르는 선로의 경우, 사용량에 의해 계산되는 여유용량이 정상상태에 비해 매우 큰 역조류가 발생할 수 있다. 사고시 발생하는 역조류를 고려한 여유용량을 계산하기 위해 식 (2)를 다음과 같이 개선할 수 있다.

$$\begin{aligned} c'_{i,k} &= \frac{\Delta PFC_{i,k}}{PFN_i} \quad (\Delta PFC_{i,k} \geq 0) \\ &= 0 \quad (-2PFN_i < \Delta PFC_{i,k} < 0) \\ &= 2 + \frac{\Delta PFC_{i,k}}{PFN_i} \quad (\Delta PFC_{i,k} < -2PFN_i) \end{aligned} \quad (3)$$

- + : 정상상태의 조류방향
- : 정상상태에 대한 역조류방향.

그리고, 특정 선로 i의 여유용량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$RC_i = \text{MAX}\{c'_{i,1}, c'_{i,2}, \dots, c'_{i,n}\} \quad (4)$$

2.2.2 개별발전기의 여유용량에 대한 영향

선로마다 정해진 신뢰도비용을 개별발전기에게 배분하는 방법은 다음과 같다. 먼저 각 선로의 여유용량을 구하고 이러한 여유용량을 사고가 발생한 선로의 사용자들(발전기)에게 사용량에 근거하여 할당한다. 이러한 과정은 다음과 같이

① 각 선로에 대해 특정선로 i의 여유용량을 할당하기 위해서 식 (3)에서 구한 각 선로사고에 의한 $c'_{i,k}$ 를 다음과 같이 정규화 한다.

$$c''_{i,k} = \frac{c'_{i,k}}{\sum_{k=1}^n c'_{i,k}} \quad (5)$$

여기서,

$c''_{i,k}$: 선로 k의 탈락에 의한 선로 i의 조류변화량이 여용량에서 차지하는 비율

② 위에서 구한 식 (5)와 앞에서 언급되었던 개별발전기의 선로사용량을 이용하여 각 선로의 여유용량을 사고 선로 k의 사용자들에게 식 (6)과 같이 할당한다.

$$p_{i,j} = \sum_{k=1}^n c''_{i,k} \cdot g_{k,j} \quad (6)$$

여기서,

- $p_{i,j}$: 발전기 j가 선로 i의 여유용량에 끼치는 영향도
- $c''_{i,k}$: 선로 k의 탈락에 의한 선로 i의 조류변화량이 여용량에서 차지하는 비율
- $g_{k,j}$: 정상상태의 선로 k 사용용량에서 발전기 j가 차지하는 비율.

2.2.3 개별발전기에 할당되는 신뢰도비용

위의 식 (6)에서 구한 비율과 선로당 할당된 신뢰도비용을 사용하여 각 발전기에게 할당되는 신뢰도요금을 구할 수 있다.

$$rpg_j = \sum_{i=1}^n (rpk \cdot p_{i,j}) \quad (7)$$

여기서,

- rpg_j : 발전기 j에게 할당된 신뢰도비용
- rpk : 선로 k에서 회수해야 하는 신뢰도비용
- $p_{i,j}$: 발전기 j가 선로 i의 여유용량에 끼치는 영향도.

2.3 사례연구

사례연구는 참고문헌[4]에서 사용한 8개의 선로로 이루어진 계통을 수정하여 정리한 것이다. 편의상 본 사례 연구에서는 계통손실을 무시하였다.

	선로용량 (MW)	필요수익 (\$)
L1	70	100
L2	90	200
L3	70	100
L4	80	200
L5	80	100
L6	90	100
L7	60	300
L8	50	100

표 1. 선로데이터

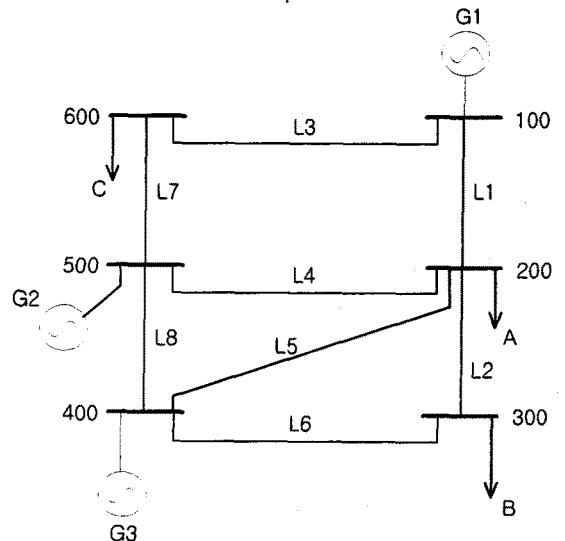


그림 2. 예제시스템

모선부하 A, B, C는 각각 100, 80, 50MW이며 발전기의 발전력 G1, G2, G3는 각각 60, 90, 80MW이다.

특정선로 i의 여유용량을 계산하기 위해 앞에서 언급된 식(3)을 사용하여 선로조류변화율을 구하면 표 2와 같다.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
L1	0.0000	0.0000	0.4063	0.3382	0.0921	0.1028	0.0000	0.0626
L2	0.0000	0.0000	0.0401	0.0000	0.0000	0.8938	0.0000	0.0660
L3	0.5563	0.0288	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4148	0.0000
L4	0.2988	0.0000	0.0000	0.0000	0.1711	0.1910	0.2228	0.1164
L5	0.1322	0.0000	0.0000	0.2763	0.0000	0.4929	0.0986	0.0000
L6	0.0852	0.3886	0.0000	0.1781	0.2846	0.0000	0.0635	0.0000
L7	0.0000	0.0000	0.4063	0.3382	0.0921	0.1028	0.0000	0.0626
L8	0.2279	0.1260	0.0000	0.4763	0.0000	0.0000	0.1699	0.0000

표 2. 특정선로의 여유용량에서 각 선로의 사고가 끼치는 영향

식 (4)에 의해 각 선로의 여유용량이 계산할 수 있으며 이러한 방법으로 구한 선로 당 사용용량과 여유용량에 대해 회수해야 하는 비용은 다음의 표 3과 같다.

	선로사용료	신뢰도요금
L1	70.4433	29.5567
L2	72.0306	127.9694
L3	43.8421	56.1579
L4	138.5775	61.4225
L5	54.1928	45.8072
L6	75.0958	24.9042
L7	196.5518	103.4482
L8	38.3743	61.6257

표 3. 각 선로에 할당된 선로 사용료와 신뢰도요금

다음 단계에서는 표 3에 나타난 각 선로의 선로사용료와 신뢰도요금을 직접 발전기에 할당하게 되는데, 선로사용료는 해당 선로를 사용하는 비율에 의해 발전기들에게 배분하게 되고, 신뢰도비용은 다른 선로의 사고에 의해 해당선로가 가져야 하는 예비용량을 사고 선로를 사용하던 발전기의 사용용량에 비례해서 배분하게 된다. 식 (6), (7)을 이용하여 선로당 비용을 각 발전기에 할당하면 표 4와 같은 결과가 나타난다.

	G1	G2	G3
선로사용료	165.6163	345.6790	177.8131
신뢰도비용	160.8637	204.8399	145.1880
송전선 이용료	326.4800	550.5189	323.0011

표 4. 각 발전기에 할당된 선로사용료와 신뢰도요금

선로의 필요수익의 회수에 대해 여유용량을 사용량에 근거한 방법과 신뢰도를 반영한 방법을 이용하여 각 발전기에 할당된 송전선 이용료를 비교하면 표 5와 같다. 두 결과에 의해 산정된 개별발전기에 대한 요금은 비슷한 영향을 보이지만 G2는 상대적으로 계통신뢰도에 영향을 적게 미치고, G3는 영향을 많이 미침을 알 수 있다.

송전선 이용료	G1	G2	G3
사용량에만 근거한 방법	325.3802	594.8111	279.8087
제한된 방법	326.4800	550.5189	323.0011

표 5. 사용량에만 근거한 방법과 신뢰도를 고려한 방법에서 각 발전기에게 할당된 요금의 비교

3. 결 론

기존의 방법에서는 정상상태에서 각 참여자가 발생시

키는 조류와 상정사고 기준에 근거하여 선로의 여유용량 (Reliability margin)에 대한 비용을 산정하고 있지만 선로의 여유용량은 해당선로의 사용자만을 위한 것이 아니고 계통 전체의 신뢰도수준에 영향을 끼치고, 궁극적으로는 계통 전체의 사용자에게 이익을 주게되므로 송전선 이용료 산정시에 이러한 것에 대한 고려를 할 필요가 있다. 이러한 사실을 반영하기 위해 본 연구에서는 N-1 상정사고를 고려하여 구해진 각 선로의 여유용량을 실제로 이러한 여유용량을 발생시키는 유발자에게 요금을 부과하도록 하였다. 하지만, 특정 선로의 여유용량은 각 선로의 상정사고에 의해 발생한 여유용량의 최대값이고 이를 각 선로에 비례적으로 할당하는 방법은 공정치 못하다고 여겨지며 이는 큰 여유용량을 유발하는 자에게 가중치를 부과하는 방법 등을 고려해 볼 만 하다. 또한, 이 과정에서 N-1 상정사고 기준에 근거하여 산정된 여유용량과 Base case로부터 구해진 선로사용량 중 어느 것에도 해당하지 않는 예비용량에 대한 비용회수에 대해서 어떠한 방법으로 비용을 회수할 것인지에 대해서도 논쟁의 여지가 있다. 따라서, 이러한 부분들에 대한 심도 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] C.W.Yu, "Pricing Transmission Services in the Context of Industry Deregulation", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.12, No.1, 503-310, Dec 1997
- [2] E.L.Silva, "Transmission Access Pricing to Wheeling Transaction : A Reliability Based Access", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.13, No.1, p1481-1486, Nov. 1998
- [3] UMIST, "Contributions of Individual Generators to Loads and Flows", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No 1, p52-60, Feb. 1997
- [4] Jian Yang, "Tracing the Power in Transmission Networks for Use-of-Transmission-System Charges and Congestion Management", IEEE Transaction on Power Systems, p1481-1486, 1998