

송전선 이용료상의 적정 신뢰도비용 산정방안

유청일, 신영균, 김발호
홍익대학교

Allocation of Transmission Reliability Charge

Chongil YOO, Yonggyun SHIN, Balho. H. KIM
Hongik Univ.

Abstract - It is required to develop a rational transmission tariff system to ensure the fair participation of the players in the market. This study suggests an improved transmission tariff system which classifies the line capacity into line usage and reliability capacity based on their use and reasonably allocates the costs incurred by each of them to users. In addition, it takes the system load variations into consideration.

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.

송전선 이용료의 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.

C.W.Yu는 투자비 회수를 목적으로, 개별 송전선 사용에 대한 신뢰도 여유를 송전선 이용료에 반영하고 있다(1). 하지만, 신뢰도 여유를 계산하는 방법에서 개별 송전선의 여유용량을 고려하지 않고 있다.

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

또한, Daniel Kirschchen이 제안한 송전선이용료 산정방안은 전력조류의 비례배분 가정을 통해 네트워크 토폴로지를 이용하여 비용을 배분하고 있으나 신뢰도비용 자체를 분리하여 구분하고 있지 않다(3).

이와 같이 기존의 송전선 이용료 산정방법은 실제 사용량에 근거하여 계통여유용량에 대한 비용을 비례할당하거나 모든 계통사용자에게 동일하게 부과하고 있다. 이는 실제 사용되지 않는 선로용량에 대해 적절한 신뢰도비용을 부과하는 것이 아니기 때문에 합리적인 방법이라 할 수 없다.

본 논문에서는 신뢰도비용의 할당을 위해 새로운 방법을 제안하고, 이로부터 송전선 이용료를 산정하는 방법에 대해 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 송전선 이용료의 할당

송전선 이용료는 선로의 사용량을 기반으로 한 선로사용료와 계통의 원활한 운영을 위해 확보해야 하는 여유용량을 기반으로 한 신뢰도비용으로 나눌 수 있다. 선로사용료와 신뢰도비용을 구하기 위해 먼저 선로용량을 사고 전 선로조류량과 계통신뢰도를 고려한 예비용량으로 구분하고, 이를 각각 선로사용량과 신뢰도용량으로 정의한다.

여기에서, 선로사용량은 해당선로 사용자의 선로사용률에 근거하여 계산한다. 이에 반해, 각 선로의 신뢰도용량은 계통내의 다른 선로의 고장에 대비해 해당선로가 갖춰야하는 여유용량임으로 탈락한 선로의 사고 전 사용률에 비례하여 사용자에게 용량을 할당한다.

마지막으로 선로의 필요수익을 각 사용자에게 할당된 선로사용량과 신뢰도용량에 비례분해서 할당한다. 여기에서 사용된 선로사용률은 기존에 연구되었던 전력조류추적법(PCFM)을 응용하여 산정했다(4).

2.2 다양한 부하상태를 고려한 신뢰도비용산정

이번 절에서는 다양한 부하상태에서의 선로사용량과 신뢰도용량을 구하고, 사용자들에게 부과할 선로사용료와 신뢰도비용을 구한다. 이 과정을 수행하기 위해 먼저 각 부하상태에서 나타나는 조류량 중 선로조류의 최대값을 구해서 해당선로의 최대선로사용량으로, 신뢰도용량은 전체선로용량과 앞에서 구한 최대선로사용량의 차이로 정의한다. 구해진 선로사용량과 신뢰도용량을 부하상태에 따라 다르게 구해진 비율로 사용자들에게 할당하고, 최종적으로 회수해야 할 해당선로의 비용을 비례배분한다. 연구의 전개를 위해 전체선로용량은 모든 N-1 상정사고를 감당할 수 있을 만큼 충분하다고 가정한다.

2.2.1 부하상태 i에서의 신뢰도용량

앞에서 언급한 바와 같이, 부하상태 i에서의 선로사용량과 신뢰도용량은 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$pfn_i = \max \{ pfn_i^{(1)}, pfn_i^{(2)}, \dots, pfn_i^{(l)} \}$$

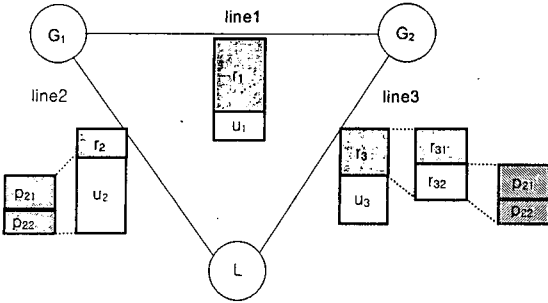
$$rc_i = lc_i - pfn_i \tag{1}$$

여기서, pfn_i : 선로 i의 최대선로사용량
 $pfn_i^{(l)}$: 부하상태 l에서 선로 i의 조류량
 lc_i : 선로 i의 선로용량
 rc_i : 선로 i의 신뢰도용량

2.2.2 개별발전기에 할당되는 신뢰도용량

다음으로, 선로마다 정해진 신뢰도용량을 개별발전기에 할당하는 방법을 알아본다. 본 논문에서는 전 단계에서 구한 신뢰도용량을 부하상태 i에서 사고발생선로의

사고 전 사용률에 비례하여 발전기들에게 할당할 것을 제안한다. 이를 도식화하면 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 신뢰도용량을 발전기에 할당하는 방법의 예

예로, (그림 1)을 이용하여 발전기 1이 선로 1의 최대선로조류량과 선로 3의 신뢰도용량에서 차지하는 비율을 구하면 다음과 같다.

여기서,

- u_i : 선로 i의 최대선로사용량
- r_i : 선로 i의 신뢰도용량
- p_{ij} : 발전기 j가 선로 i의 선로사용량에서 차지하는 비율
- r_{ik} : 선로 i의 신뢰도용량에서 사고선로 k가 끼치는 영향도

• G_1 이 선로 2의 최대선로사용량에서 사용하는 용량

$$G_{1,u2} = \frac{p_{21}}{p_{21} + p_{22}} \times u_2$$

• G_1 이 선로 3의 신뢰도용량에서 사용하는 용량

$$G_{1,r3} = \left(\frac{p_{11}}{p_{11} + p_{12}} \cdot \frac{r_{31}}{r_{31} + r_{32}} \cdot r_3 \right) + \left(\frac{p_{21}}{p_{21} + p_{22}} \cdot \frac{r_{32}}{r_{31} + r_{32}} \cdot r_3 \right)$$

이 과정을 일반화하면, 다음과 같은 절차를 가진다.

① 부하상태 l에서, 각 선로에 대해 N-1 상정사고를 고려한 각 선로의 조류변화량을 구한다. 이는 식(2)와 같다.

$$\Delta pfc_{i,k}^{(l)} = pfc_{i,k}^{(l)} - pfn_i^{(l)} \quad (2)$$

여기서,

$\Delta pfc_{i,k}^{(l)}$: 부하상태 l에서 선로 k 탈락시 선로 i의 조류변화량

$pfc_{i,k}^{(l)}$: 부하상태 l에서 선로 k 탈락시 선로 i의 조류량

② 사고조류의 조류방향을 고려한 정상상태의 조류에 대한 선로사고시의 변화량의 비율을 구하며 이는 식(3)과 같다. 즉, 이는 사고에 의한 조류의 선로조류 증가에 기여한 비율이다.

$$c_{i,k}^{(l)} = \frac{\Delta pfc_{i,k}^{(l)}}{pfn_i^{(l)}} \quad (\Delta pfc_{i,k}^{(l)} \geq 0)$$

$$= 0 \quad (-2pfn_i^{(l)} < \Delta pfc_{i,k}^{(l)} < 0) \quad (3)$$

$$= 2 + \frac{\Delta pfc_{i,k}^{(l)}}{pfn_i^{(l)}} \quad (\Delta pfc_{i,k}^{(l)} \leq -2pfn_i^{(l)})$$

③ 부하상태 l에서 각 선로에 대한 선로 i의 신뢰도용량을 할당하기 위해서 식(3)에서 구한 각 선로사고에 대한 $c_{i,k}^{(l)}$ 을 다음과 같이 정규화 한다.

$$c'_{i,k}^{(l)} = \frac{c_{i,k}^{(l)}}{\sum_{j=1}^n c_{i,k}^{(l)}} \quad (4)$$

④ 식(4)와 부하상태 l에서의 개별발전기의 선로사용률을 이용하여 각 선로의 신뢰도용량을 식(5)와 같이 할당한다.

$$p_{i,j}^{(l)} = \sum_{k=1}^n c'_{i,k}^{(l)} \cdot g_{k,j}^{(l)} \quad (5)$$

여기서,

$p_{i,j}^{(l)}$: 부하상태 l에서 발전기 j가 선로 i의 신뢰도용량에 끼치는 영향도

$g_{k,j}^{(l)}$: 부하상태 l에서 선로 k의 선로사용량에서 발전기 j가 차지하는 비율

2.2.3 개별발전기에 할당되는 신뢰도비용

위의 식(5)에서 구한 비율과 선로 당 회수해야 하는 신뢰도비용을 이용해서 각 발전기에 할당되는 신뢰도비용을 구할 수 있다.

$$rpg_j^{(l)} = \sum_{k=1}^n (rpk \cdot p_{i,k}^{(l)}) \quad (6)$$

여기서,

$rpg_j^{(l)}$: 부하상태 l에서 발전기 j에 할당된 신뢰도비용

rpk : 선로 k에서 회수해야 하는 신뢰도비용

2.3 사례연구

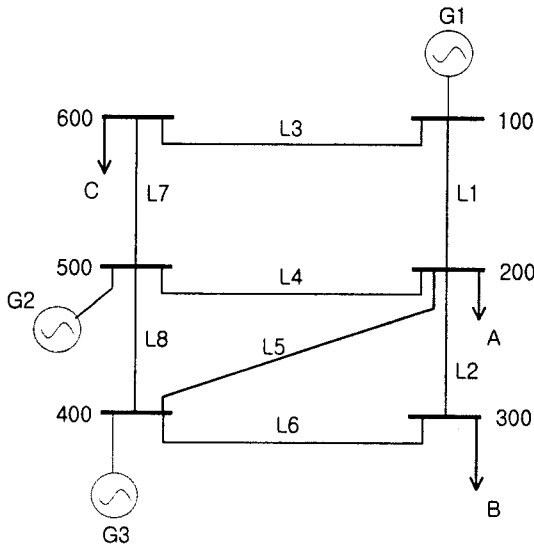
사례연구에 사용된 계통은 참고문헌[4]에서 사용한 3기 6모선 계통을 수정한 것이다. 편의상 사례연구에서는 계통손실을 무시하였고 선로용량은 사고 시 선로에 흐르는 최대조류보다 크다고 가정하였다. 또한, 각 부하상태에 대한 발전량은 경제급전에 의한다. (그림 2)는 예계 계통을 보이고 있다. (표 1)은 가설된 선로용량과 선로당 필요수익을 나타내고 있으며, (표 2)는 각각의 부하상태에 따른 모선 부하 A, B, C의 값을 나타내고 있다.

(표 1) 선로용량과 선로 당 필요수익

	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8
필요수익 (₩)	100	200	100	200	100	100	200	100
선로용량 (MW)	200	250	350	200	200	250	350	100

(표 2) 각 부하상태에서의 부하량

부하	부하상태1	부하상태2	부하상태3	부하상태4	부하상태5	부하상태6
A	200	220	160	300	50	150
B	160	176	200	50	100	150
C	100	110	100	200	300	200



(그림 2) 사례연구 예계계통

계산절차에서 식 (1)에 따라, 선로에 대한 용량할당은 (표 3), 선로 당 필요수익에 대한 비용할당은 (표 4)와 같다. (표 3)에서 선로2의 선로사용량과 신뢰도용량을 살펴보면, 선로용량에서 신뢰도용량이 차지하는 비율이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이는 각 선로의 N-1 상정사고를 고려했을 때, 선로 2가 가져야 하는 신뢰도용량이 크기 때문이며, 이 선로비용을 선로 2의 사용자에게 사용량에 근거해서 배분하는 것은 합당하지 않음을 보이고 있다.

(표 3) 선로사용량, 신뢰도용량

(MW)	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8
선로사용량	99.4	36.6	105.2	98.2	99	163.5	195.1	40.6
신뢰도용량	100.6	213.4	244.8	101.8	101	86.5	154.9	59.4

(표 4) 선로사용료, 신뢰도비용

(₩)	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8
선로사용료	49.7	29.3	30.1	98.2	49.5	65.4	111.5	40.6
신뢰도비용	50.3	170.7	69.9	101.8	50.5	34.6	88.5	59.4

다음 단계에서는 (표 4)에 나타난 각 선로의 선로사용료와 신뢰도요금을 직접 발전기에 할당하게 되는데, 선로사용료는 부하상태 1에서의 해당 선로의 선로사용률에 의해 발전기들에게 배분하게 되고, 신뢰도비용은 부하상태 1에서 각 선로의 신뢰도용량을 사고선로를 사용하던 발전기의 사고 전 선로사용률에 비례해서 배분한다. 식 (5), (6)을 이용하여 각각의 부하상태에서의 선로 당 필요수익을 발전기에 할당하면 다음과 같은 결과가 나타난다. (표 5)에서는 부하상태 1에서 각 발전기에 할당되는 선로사용료와 신뢰도비용을 보이고 있고 (표 6)과 (표 7)에서는 각 부하상태에 대해 발전기에 할당되는 신뢰도비용, 송전비용을 보이고 있다.

(표 5) 부하상태 1에서 발전기에 할당되는 송전비용

비용	G1	G2	G3	합계
선로사용료	115.7581	122.2810	236.1836	474.2228
신뢰도비용	271.2073	142.7904	211.7793	625.7771
송전비용	386.9654	265.0715	447.9629	1100.0000

(표 6) 각 부하상태에 대해 발전기에 할당되는 신뢰도비용

부하상태	G1	G2	G3
1	271.2073	142.7905	211.7793
2	274.8391	142.6454	208.2926
3	268.5274	139.1408	218.1089
4	265.7402	216.6703	143.3666
5	216.5070	225.9652	183.3049
6	280.2527	171.2397	174.2848

(표 7) 각 부하상태에 대해 발전기에 할당되는 송전비용

부하상태	G1	G2	G3
1	386.9654	265.0715	447.9629
2	391.4601	265.3223	443.2174
3	383.1571	259.9398	456.9029
4	349.9493	408.2957	341.7549
5	323.4894	394.2963	382.2141
6	388.4399	296.4118	415.1481

3. 결 론

기존의 방법에서는 선로비용을 정상상태의 선로사용률에 비례하여 사업자에게 배분하였다. 이는 해당선로의 신뢰도용량에 대한 비용도 그 선로를 사용하고 있는 사업자에게 배분한 것이다. 하지만, 신뢰도용량에 대한 비용은 상정사고시 그 용량을 필요로 하는 선로의 사용자가 부담하는 것이 타당한 것으로 보인다. 본 연구에서는 신뢰도용량을 선로사용률에 의해 직접 배분하는 것은 타당하지 않음을 보이고, 이를 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한, 여러 가지 부하상태에 대해 변화하는 발전기의 선로사용률을 고려하여 비용을 산정함으로써, 선로필요수익의 완전한 회수를 도모하였다.

(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] Daniel Kirschen, "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