

송전계통의 신뢰도 비용 산정 방안에 대한 연구

정구형 신영균 김발호 임성황*
 홍익대학교 전기정보제어공학과 *한국전력

An Approach To Allocating Transmission System Reliability Cost

Koo-Hyung Chung Young-Kyun Shin Balho H. Kim Sung-Hwang Im*
 Hong-ik University *KEPCO

Abstract - The efficient and rational transmission rate system is one of the crucial factors in creation of fair and competitive electricity market.

Transmission charge can be largely categorized into the line usage charge, system reliability maintenance charge, access charge and others. Therefore, transmission rate structure should be able to reflect these cost components reasonably.

This paper suggests an approach that could be used for the reasonable calculation of transmission reliability costs with reflection of line sensitivity and line outage rate.

1. 서 론

전 세계적으로 전력산업은 전례없는 변화를 겪고 있다. 이러한 변화들은 전력산업에 있어서 기존의 수직통합적 구조의 해체를 초래하였으며, 이는 발전·배전 및 판매분야에서의 경쟁을 도입하고자 하는 것이다. 그러나, 규모의 경제가 존재하는 송전분야는 여전히 독점을 유지하며 중앙제어 형태로 운영하게 된다. 그러므로, 시장참여자들이 공정한 송전계통 운영에 대해 확신할 수 있다면, 성공적인 경쟁시장으로의 이행이 가능하게 될 것이다.

이러한 송전계통 운영의 공정성을 형성하는 중요한 요소 가운데 하나가 합리적인 송전요금체계이다. 송전요금은 크게 선로사용에 대한 부분, 계통신뢰도 유지에 대한 부분 그리고 접속료 및 기타 비용으로 구성된다. 그러므로 송전요금체계에는 이러한 비용요소들이 합리적으로 반영되어야 한다.

본 논문에서는 송전요금체계의 구성요소 가운데, 계통신뢰도 유지를 위한 송전비용 산정방법에 대해서 논하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 참고문헌[1]에서 제안한 선로 사용도 계산결과를 바탕으로 하며, 각 선로의 민감도와 선로고장률을 반영하여 각 계통참여자의 계통신뢰도에 대한 영향 정도를 계산함으로써 보다 합리적으로 계통신뢰도 비용을 산정하고자 한다.

2. 본 론

2.1 개요

일반적으로 송전선로는 상당부분의 예비력(설비용량-최대예상조류량)을 보유하고 있다. 이러한 예비력은 해당 송전선로의 송전능력에만 영향을 미치는 것이 아니라, 계통 전체의 신뢰도에도 영향을 미치게 된다. 그러므로, 이러한 신뢰도의 영향을 적절히 요율에 반영함으로써 최종 송전요율의 왜곡을 줄이는 과정은 공정한 송전계통 운영의 필수적인 요소라 할 수 있다. 다만, 이러한 신뢰도 평가 방법과 평가된 신뢰도를 요율에 반영하

는 방법에 대해서는 여러 가지 견해가 존재하고 있다.

그 중에서, 참고문헌[2]에서 제안한 송전요금 산정 방법은 계통의 상정사고와 모든 부하 수준을 반영하여, 해당선로의 최대조류 상태에 대한 각 발전기(또는 부하)의 선로사용도를 계산하여 이를 비용화함으로써 송전비용의 완전회수를 목적으로 하고 있다. 그러나, 이 방법은 선로의 신뢰도 비용을 산정하는 것이 아니라, 해당 선로에 최대조류를 야기하는 상정사고의 영향을 반영하여 선로 사용도를 산정하는 것을 목적으로 한다. 그러므로, 이 방법은 전체 계통의 신뢰도를 유지하기 위한 비용의 지불이 해당 선로 사용자에게만 부과되어야 하는지에 대한 의문이 제기된다. 왜냐하면, 선로의 예비력은 해당 선로의 사용자만을 위한 것이 아니며, 계통 전체의 모든 사용자들을 대상으로 확보되어야 하는 것이기 때문이다.

따라서, 본 논문에서는 참고문헌[1]에서 제안한 방법으로 정상상태에서의 실제 선로사용도를 계산하여 이 결과에 따라 비용을 할당하며, 신뢰도 유지에 대한 비용산정은 정상상태에서의 선로사용도 결과를 바탕으로, 상정사고에 대한 선로의 민감도와 함께 각 선로의 고장율을 반영하여 해당 선로의 신뢰도 영향 정도에 따라 비용을 부과하고자 한다.

2.2 신뢰도 영향평가 방법

일반적으로 계통의 신뢰도를 평가하기 위해 모든 상정사고를 연속적으로 시험한다. 그러나, 실제 계통에서는 단일 선로고장이 계통 사고의 대부분을 차지하므로 본 논문에서는 단일 선로고장(n-1 상정사고)에 대한 민감도와 고장확률만을 고려한다.

2.2.1 선로의 민감도 계산

각 선로의 고장이 다른 선로에 끼치는 영향을 판단하기 위해 다음과 같은 계수를 정의한다.

$$S_{i,k} = \frac{I_{i1}}{I_{i0}} - 1, \quad I_{i1} > I_{i0} \quad (1)$$

$$= 0, \quad I_{i1} \leq I_{i0}$$

단,

I_{i1} : 정상상태에서의 선로 i의 선로조류량,

I_{i0} : 선로 k 고장시의 선로 i의 선로조류량.

이 민감도 계수는 line outage distribution factor(LODF)와 유사하나, 그 의미에 있어서는 약간의 차이가 있다. LODF는 고장선로에 흐르던 선로조류량을 나머지 선로들이 어느 정도 부담하는가를 보여주는 반면 [5], 위의 계수는 특정 선로가 나머지 선로들의 고장에 대해 어느 정도의 영향을 받는가, 다시 말하면 각 선로의 고장으로 인해 특정 선로의 선로조류량이 정상상태에서의 선로조류량과 비교하여 어느 정도 변하는 가를 보여주는 것이다.

또한, 위의 민감도 계수는 상정사고 시의 선로조류가

정상상태의 선로조류보다 큰 경우에 대해서만 고려하였다. 왜냐하면, 정상상태일 때보다 적은 선로조류량은 계통신뢰도에 영향을 끼치지 않기 때문이다.

으며, 각 선로고장에 대한 특정선로의 민감도 계산 결과는 <표 4>와 같다.

2.2.2 선로의 고장확률

선로의 민감도와 함께 신뢰도 평가요소로서 각 선로의 고장확률(또는 고장시간)을 반영하고자 한다. 단일 선로 고장 즉, n-1 상정사고만을 가정하였으므로 각 선로의 고장은 중첩되지 않는다.

2.2.3 신뢰도 영향 계수

신뢰도 평가를 위해 선로의 민감도와 고장시간을 동시에 반영하기 때문에, 위의 두 계수를 통해 다음과 같은 신뢰도 영향 계수를 정의한다.

$$W_{i,k} = S_{i,k} \cdot T_k \quad (2)$$

단,

$W_{i,k}$: 선로 i 의 신뢰도에 대한 선로 k 의 영향 정도.

그러나, 특정 선로에 대한 각 선로고장의 상대적인 영향도를 계산하고자 하므로, 위의 계수는 해당 선로를 기준으로 다음과 같이 정규화 되어야 한다.

$$NW_{i,k} = \frac{W_{i,k}}{\sum_{j=1}^n W_{i,j}} \quad (3)$$

2.2.4 신뢰도 영향의 산정

위의 과정을 통해 각 선로고장에 대한 신뢰도 영향 계수를 계산하면, 이를 바탕으로 신뢰도 영향 정도를 각 발전기(또는 부하)에 분배해야 한다. 특정 선로에 미치는 신뢰도 영향은 고장이 발생한 각 선로가 해당 선로에 끼치는 영향 정도와 각 발전기(부하)가 정상상태에서 고장선로를 사용하는 정도에 따라 다음과 같이 분배된다.

$$C_{Ai}^R = \sum_{j=1}^n NW_{i,j} \cdot C_{Aj}^R \quad (4)$$

단,

C_{Ai}^R : 선로 i 의 신뢰도에 대한 발전기 A 의 영향도.

C_{Ak}^R : 정상상태에서의 선로 k 에 대한 발전기 A 의 선로 사용도.

그러므로, (4)식으로 계산된 각 선로에 대한 발전기(부하)의 신뢰도 영향 정도에 따라 선로비용을 분배함으로써 계통신뢰도 비용을 산정할 수 있게 된다.

$$RC_{Ai} = Cost_i \cdot C_{Ai}^R \quad (5)$$

단,

RC_{Ai} : 발전기 A 가 지불하는 선로 i 의 신뢰도 요금.

$Cost_i$: 선로 i 의 신뢰도 비용.

각 부하의 선로 사용도를 계산하게 되면, 이 결과에 식(4)와 (5)를 적용하여 부하에 대해서도 신뢰도 요금을 산정할 수 있다.

2.3 사례연구

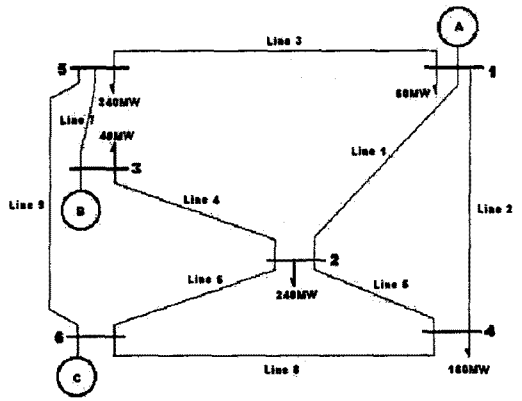
본 사례연구는 참고문헌[6]의 6모선 계통을 수정하여 사용하였다. 이에 대한 계통도와 선로 데이터는 <표 1>과 같다.

이 계통에 대한 각 발전기의 선로 사용도는 <표 2>에서 보여주고 있으며, 이는 참고문헌[1]의 방법으로 계산하였다.

또한, 각 선로의 고장시간은 <표 3>과 같이 가정하였

<표 1> 계통의 선로 데이터

	From	To	Resistance	Reactance	Shunt
Line 1	1	2	0.0012	0.0150	0.0000
Line 2	1	4	0.0150	0.0920	0.1810
Line 3	1	5	0.0230	0.1380	0.2710
Line 4	2	3	0.0170	0.1660	0.3260
Line 5	2	4	0.0230	0.1380	0.2710
Line 6	2	6	0.0020	0.0240	0.0000
Line 7	3	5	0.0010	0.0120	0.0000
Line 8	4	6	0.0120	0.0150	0.0000
Line 9	5	6	0.0150	0.0920	0.1810



<그림 1> 6모선 계통도

<표 2> 각 발전기의 선로 사용도

	발전기 A	발전기 B	발전기 C
Line 1	0.5276	0.1886	0.2838
Line 2	0.5276	0.1886	0.2838
Line 3		0.7164	0.2836
Line 4		1.0000	
Line 5	0.5276	0.1886	0.2838
Line 6			1.0000
Line 7		1.0000	
Line 8			1.0000
Line 9			1.0000

<표 3> 선로의 고장시간

선 로	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7	Line 8	Line 9
고장시간	12	24	15	48	20	18	36	18	30

〈표 4〉 선로의 민감도 계산 결과

	고장 선로								
	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7	Line 8	Line 9
Line 1		0.1793		0.1377		0.0803		0.0851	
Line 2	3.3875			0.0122	0.8661		0.0376	0.3260	
Line 3	0.8859			1.0777		0.5954	0.9280	1.1381	
Line 4	0.3100	0.0005	0.0922			0.1698	2.6077	0.3102	
Line 5	0.6030	0.6176					1.4227	1.3497	
Line 6	0.4580		0.1273	0.4265				0.6415	0.6447
Line 7				0.3815	0.0367				0.1894
Line 8	0.2131	0.0450	0.1102	0.3529	0.2653	0.2914			0.5484
Line 9						0.3367	1.6914	0.6307	

위의 결과들을 바탕으로 각 선로에 대해 식(2)와 (3)을 이용하여 신뢰도 영향 계수를 계산한 결과는 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 신뢰도 영향 계수의 계산 결과

	고장 선로								
	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7	Line 8	Line 9
Line 1		0.3097		0.4759		0.1041		0.1103	
Line 2	0.6180			0.0089	0.2634		0.0206	0.0892	
Line 3	0.0837			0.4074		0.0844	0.2631	0.1613	
Line 4	0.0346	0.0001	0.0129			0.0284	0.8722	0.0519	
Line 5	0.0742	0.1519					0.5249	0.2490	
Line 6	0.0935		0.0325	0.3484				0.1965	0.3291
Line 7				0.7405	0.0297				0.2298
Line 8	0.0519	0.0219	0.0336	0.3440	0.1078	0.1066			0.3342
Line 9						0.0774	0.7776	0.1450	

〈표 2〉의 발전기의 선로 사용도를 바탕으로 〈표 5〉의 결과를 적용하여 식(4)를 통해 각 선로에 대한 발전기의 계통신뢰도에 대한 영향도를 계산하면 다음과 같다.

〈표 5〉 각 발전기의 신뢰도 영향

	발전기 A	발전기 B	발전기 C
Line 1	0.1634	0.5343	0.3022
Line 2	0.4650	0.1957	0.3393
Line 3	0.0442	0.6863	0.2695
Line 4	0.0183	0.8879	0.0938
Line 5	0.1193	0.5676	0.3132
Line 6	0.0493	0.3893	0.5614
Line 7	0.0157	0.7461	0.2382
Line 8	0.0958	0.4024	0.5018
Line 9	-	0.7776	0.2224

이 결과를 〈표 1〉의 선로 사용도와 비교해보면, 선로 사용자의 각 선로에 대한 신뢰도 영향 정도는 실제 해당 선로의 사용도와는 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러므로, 신뢰도 요금은 선로 사용료와는 구분되어 부과되는 것이 합리적이라 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 참조하고 있는 기존의 방법들은 송전요율을 산정하는 데 있어서 계통이 정상상태로 운전될 때의 선로 사용도만을 고려하거나[1], 선로의 사용도를 해당 선로가 최대조류상태일 때에 계산함으로써, 선로에 가장 큰 영향을 끼치는 계통의 상정사고만을 반영하여 선로 사용도를 산정하는 반면[2], 본 논문에서 제안하는 방법은 계통 신뢰도 유지 비용을 각 선로의 상정사고시 선로 조류의 변화 정도와 함께 선로의 고장시간을 반영하여, 선로 사용자가 각 선로의 신뢰도 수준에 영향을 미치는 정도에 따라 보다 합리적으로 신뢰도 유지비용을 부과하여 이를 회수하고자 하였다.

그러나, 이 방법은 총괄비용법, 특히 거리용량병산제를 바탕으로 하기 때문에 계통 참여자들에게 경제적인 신호를 주지 못하며, 또한 신뢰도 유지비용에 대한 요금 비율에 대한 기준에 대해서는 논쟁의 여지가 있다. 그러므로, 이 부분들에 대한 심도있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Daniel Kirschen, Ron Allan, Goran Strbac, "Contributions of Individual Generators to Loads and Flows", IEEE Transactions on Power System, Vol. 12, No. 1, February 1997
- [2] Goran Strbac, Daniel Kirschen, Syed Ahmed, "Allocating Transmission System Usage on the Basis of Traceable Contributions of Generators and Loads to Flows" IEEE Transactions on Power System, Vol. 13, No. 2, May 1998
- [3] 서울대학교 경제연구소, "전력시장 경쟁도입을 위한 기초 연구", 한국전력공사 전력산업구조조정실, pp167~266, 1999. 8
- [4] 기초전력공학공동연구소, "송전선 혼잡처리 비용 및 송전선 이용료 설정에 관한 연구", 한국전력공사 송변전처, pp1~10, 2000. 2
- [5] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control" 2nd Edition, Wiley-Interscience publication, pp411~452, 1996
- [6] Micheal Einborn, Riaz Siddiai, "Electricity Transmission Pricing and Technology", Kluwer Academic Publishers, pp59~76, 1996
- [7] Sally Hunt, Graham Shuttleworth, "Competition and Choice in Electricity", National Economic Research Associate, 1996