

송전비용의 발전기에서의 할당 방법론 연구

박종배*, 이찬주*, 신종린*, 김발호**, 원영진**

*건국대학교 전기공학과, **홍익대학교 전기제어공학과, ***한국전력공사 송변전처

A Study on the Transmission Cost Allocation for Generator

Jong-Bae Park*, Chan-Joo Lee*, Joong-Rin Shin*, Bal-Ho Kim**, Young-Jin Won***

*Konkuk University, **Hongik University, ***Korea Electric Power Corporation

Abstract - 본 연구에서는 경쟁적 전력시장에서 발전사업자들이 송전망 이용료를 지불하는 방법론을 개발하고 계산하였다. 이는 현재 호주에서 시행하고 있는 부하를 중심으로 한 송전요금제도와 관련된 방법론으로서 기존의 부하에 대한 알고리즘을 변형하여 유도하였다. 현재 호주에서는 발전사업자들에 대한 송전망 이용료를 부과하고 있지는 않지만, 발전사업자에게 위치적 가격 신호를 제공하기 위해서는 적절한 가격을 부과하는 전략이 필요하다. 제안된 방법론은 샘플 및 우리나라 실제통에 적용하여 부하에 대한 송전요금 방법론의 결과와 비교 분석하였다.

1. 서 론

경쟁적 전력시장에서의 송전선 이용료는 에너지 요금과 더불어 전기요금의 가장 중요한 부분을 차지하며, 효율적인 전력시장을 구축하기 위해서는 시장참여자들에게 적절한 가격신호를 제공해 주어야 한다[1,2]. 송전선 요금을 결정하는 방법론은 크게 총괄비용배분법과 한계비용법으로 나눌 수 있다. 총괄비용배분법은 소요된 총비용, 즉 필요수입액을 사용자별로 적절하게 배분하는 방법을 말하며 우편요금제, 계약경로법, 거리용량방산계 등으로 구성된다[3,4,5]. 반면에 한계비용법은 전력계통의 최적조류계산을 기반으로 한 방법이며 단기한계비용법과 장기한계비용법으로 구성된다[5]. 양 방법론 모두 장·단점이 있기 때문에 송전망 운영자는 두 방법론을 적절히 혼합하여 송전요금을 결정하고 있다. 현재 호주의 송전요금제도는 큰 분류에 의하면 총괄비용법에 기초한 송전요금제도의 변형이며, 부하에 대해서만 송전선로 이용에 대한 송전망 이용료를 부과하고 있다[6]. 하지만 발전사업자들에게 위치적 가격 신호를 제공하기 위해서는 적절한 가격을 부과하는 방법론이 필요하다.

본 연구에서는 현재 호주에서 시행하고 있지 않은 발전사업자에 대한 송전요금제도와 관련된 방법론을 기존의 부하에 대한 알고리즘을 변형하여 유도하였다. 또한 호주의 부하기준 송전요금 방법론과 제안한 발전기 기준 송전요금 방법론을 비교 분석함으로써 향후 우리나라의 장기 송전요금제도의 설계에 대한 방향성을 제시하였다.

2. 본 론

발전기의 송전요금을 계산하기 위해서는 우선 전력 조류계산을 수행하여 대상 선로에 대한 발전/부하 모션별 선로 민감도를 계산한다. 그리고 고장전류 행렬, 발전량의 부하에의 할당 행렬, 시스템 로딩 행렬등을 이용해서 발전기 및 부하에 대한 송전비용 행렬을 계산할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 발전기에 대한 송전망 이용료 산정 절차는 다음과 같다.

- 단계1. 송전자선을 발전기 접속 자산, 부하 접속 자산, 송전망 공동 이용 자산으로 구분한다.
- 단계2. 송전망 공동 이용 자산을 각 선로를 기준으로 비용을 할당하며, 각 선로를 기준으로 부하가 지불

- 할 부분과 발전기가 지불할 부분으로 나눈다.
- 단계3. 각 발전기가 부하에 전력을 공급하기 위하여 선로별로 이용하는 분담을 선로 민감도를 통하여 결정한다. 이때 민감도 행렬의 차원은 $N_{line} \times N_{bus}$ 이다.
- 단계4. 각 부하모션들을 기준으로 3상단락을 일으켜, 전체 고장전류 및 각 발전기의 고장전류 분담을 결정한 다음 발전기를 기준으로 발전량을 부하에 할당하는 행렬을 구한다. 이 행렬의 차원은 $N_{bus} \times N_{gen}$ 가 된다. 여기서 호주의 경우에는 부하를 기준으로 부하량을 발전기에 할당하는 $N_{bus} \times N_{load}$ 차원의 행렬을 구성한다.
- 단계5. 단계3과 단계4의 행렬을 곱하여 각 발전기의 Participation 행렬을 계산한다. 이 행렬의 차원은 $N_{line} \times N_{gen}$ 이 된다. 반면에 부하기준의 Participation 행렬의 차원은 $N_{line} \times N_{load}$ 가 된다.
- 단계6. 단계5의 Participation 행렬과 선로별 비용벡터(발전기 또는 부하에게 할당된 부분)의 곱으로 각 부하가 1년동안 지불하여야 할 비용을 계산한다.
- 단계7. 단계6의 각 발전기의 비용(호주의 경우 부하의 비용)을 요금으로 변환한다.

상기 절차를 통해서 송전망 사업자는 발전설비의 송전망 이용료를 산정 할 수 있다. 여기서 각 단계의 행렬에 대한 정식화는 다음과 같다.

■ 선로 민감도 행렬

발전기 중심의 선로 민감도는 i모선의 발전력 변화에 대한 j-k선로의 조류의 변화분을 의미하며, 이 때 i모선의 발전력 증가에 대응하는 부하력의 증가는 슬랙발전기의 발전력의 감소를 의미한다. 단, 여기서 j-k 선로의 충전용량은 무시하며, 이 때 j-k 선로에 흐르는 다음과 같은 전류 식을 통해 발전기에 대한 선로 민감도를 유도할 수 있다.

$$|I_{jk}|^2 = |y_{jk}|^2 \{ V_j^2 + V_k^2 - 2V_j V_k \cos(\theta_j - \theta_k) \} \quad (1)$$

따라서, 발전기 i모선의 주입전력 변화에 대한 j-k 선로의 전류변화는 아래와 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \frac{\delta I_{jk}}{\delta P_{G,i}} &= \frac{\delta P_i}{\delta P_{G,i}} \frac{\delta I_{jk}}{\delta P_i} = \frac{\delta I_{jk}}{\delta P_i} \\ &= \frac{|y_{jk}|^2 V_j V_k \sin(\theta_j - \theta_k)}{|I_{jk}|} \left[\frac{\delta \theta_j}{\delta P_i} - \frac{\delta \theta_k}{\delta P_i} \right] \\ &= \frac{(G_{jk}^2 + B_{jk}^2) V_j V_k \sin(\theta_j - \theta_k)}{\sqrt{(G_{jk}^2 + B_{jk}^2)(V_j^2 + V_k^2 - 2V_j V_k \cos(\theta_j - \theta_k))}} \left[\frac{\delta \theta_j}{\delta P_i} - \frac{\delta \theta_k}{\delta P_i} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

상기 식 (2)를 통하여 발전기에 대한 $N_{line} \times N_{bus}$ 차원의 선로 민감도 행렬을 구성할 수 있으며 부하의 경우

부호가 반대가 된다.

■ 고장 전류 행렬

호주의 방법에서는 발전기와 부하사이의 "전기적 거리"를 결정하기 위하여 고장전류 계산법을 이용한다. 발전력의 부하할당은 각 부하모선에서 3상단락사고가 발생하였을 때 총 고장전류에 대한 각 발전기의 고장전류 기여분으로부터 구한다. 고장 전류 행렬(Fault Level Contribution Matrix, FL Matrix)은 발전기와 부하사이의 "전기적 거리"를 나타내기 때문에 발전기와 부하에 대해서 동일하게 적용할 수 있다. 이 행렬은 차원은 아래 (3)식과 같다.

$$[FL_{gen}] = [FL_{load}]^T = N_{gen} \times N_{load} \quad (3)$$

■ 발전량의 부하에의 할당 행렬

이 행렬은 FL 행렬을 기준으로 계통 운전점에 대하여 주어진 발전량과 부하량을 일치하는 과정이다. 그리고 각 발전기의 손실분은 각 발전기의 출력에서 공제되어 발전량의 부하에의 할당 행렬(Constrained Generator to Load Allocation Matrix, CGLA Matrix)의 생성된다. 이 행렬 또한 발전기의 발전량과 부하의 부하량사이의 관계식을 나타내는 것이므로 동일하게 적용할 수 있으며 행렬 차원은 다음 (4)식과 같다.

$$[CGLA_{gen}] = [CGLA_{load}]^T = N_{gen} \times N_{load} \quad (4)$$

■ 시스템 로딩(System Loading) 행렬

모든 모선에 대한 발전기 중심의 시스템 로딩 행렬(L_{gen})은 CGLA 행렬을 확장하여 구할 수 있다. 우선식(4)로부터 N_{load} 의 열을 전체 모선 수에 맞추어 $N_{gen} \times N_{bus}$ 차원으로 확장한 후 전치를 취한다. 그리고 모든 행렬값을 기준값으로 나누어준 다음 음(-)을 취하고, 발전기가 연결되어 있는 모선에 대해 발전량만큼 더하여 전치를 취하면 다음 식과 같은 발전기에 대한 L_{gen} 행렬을 구할 수 있다.

$$[L_{gen}] = N_{bus} \times N_{gen} \quad (5)$$

■ Participation 행렬

상기 민감도 행렬 $A(N_{line} \times N_{bus})$ 와 시스템 로딩 $L(N_{bus} \times N_{gen})$ 을 곱하면 모든 선로에 대한 발전기 중심의 Participation 행렬을 구할 수 있다.

$$[P_{gen}] = [A_{gen}] \times [L_{gen}] = N_{line} \times N_{gen} \quad (6)$$

상기 식은 선로에 흐르는 조류에 대해서 발전기가 미치는 영향을 나타내며 음(-)의 값을 가진 선로에 대한 발전기는 역조류를 발생시키는 것이므로 '0'으로 변환시켜야 한다. 또한 각 선로에 대해서 정규화하여 선로에 대한 발전기의 이용 정도를 나타내는 행렬을 얻을 수 있다.

■ 발전기에 대한 선로별 비용 행렬

발전기의 선로별 이용 정도에 따라 비용으로 할당하기 위해서는 P_{gen} 행렬에 전체 선로별 비용에서 부하로부터 징수하는 비용을 제외한 발전기에게 할당되는 선로별 차등 비용(C_{gen})을 곱하면 된다.

$$[Cost_{gen}] = [P_{gen}] [C_{gen}] \quad (7)$$

3. 사례 연구

본 연구에서는 호주에서 사용되는 부하에 대한 송전요금 방법론과 제안된 발전기에 대한 송전 요금 방법론을 비교 분석하기 위하여 샘플 계통과 실제 계통에 대해서 사례 연구를 수행하였다.

3.1 샘플 전력시스템

본 연구에서는 아래 그림과 같이 모선수가 5개, 선로수가 6개, 발전기가 3개, 부하가 4개를 가지는 계통을 대상으로 1번 모선 발전기를 슬턱으로 지정하여 사례 연구를 수행하였다. 송전 요금 계산은 지역 차등을 100%로 가정하고 각각 부하 및 발전기에 대해서 100% 할당을 전제로 하였다.

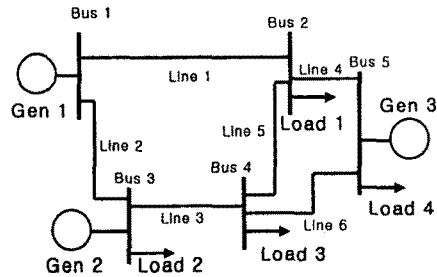


그림 1 샘플 전력 시스템

대상 계통의 선로 및 조류계산 자료는 표 1, 2와 같다.

표 1 표본 전력시스템 선로 데이터 및 비용데이터

From	To	R	X	Cost(M\$)
1	2	0.0050	0.020	6.075
1	3	0.0075	0.030	2.925
3	4	0.0050	0.020	2.240
2	5	0.0125	0.050	5.000
2	4	0.010	0.040	3.825
4	5	0.0175	0.070	8.680

표 2 표본 전력시스템 조류계산 입력 데이터

모선	전압	위상각	P_L	Q_L	P_G
1	1.040	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.998	0.0	700.0	70.0	0.0
3	1.030	0.0	250.0	25.0	300.0
4	1.01	0.0	250.0	25.0	0.0
5	1.00	0.0	300.0	30.0	200.0

3.2 사례연구 결과

대상 시스템의 부하와 발전기에 대하여 할당된 비용 결과는 아래의 표 3, 4와 같다.

표 3 부하에 대한 선로별 할당 비용

부하	모선번호	비용(\$/Mwh)
1	2	9.971
2	3	1.689
3	4	2.705
4	5	14.381

표 4 발전기에 대한 선로별 할당 비용

발전기	모선번호	비용(\$/Mwh)
1	1	20.22
2	3	7.98
3	5	0.54

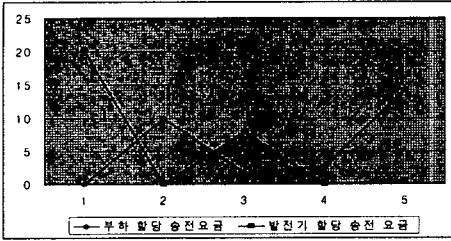


그림 2 모선별 할당 송전요금

위의 그림 2는 모선에 대하여 송전 비용 분담에 따라 할당된 송전 요금을 나타낸다. 대상 계통에서 부하에 대하여 할당된 송전요금은 전기적 위치가 가장 먼 5번 모선의 4번 부하가 가장 많은 요금을 부과한다. 반면에 발전기에 대해 할당된 송전요금은 부하의 경우와는 반대로 1번 모선의 1번 발전기가 가장 많은 요금을 부과한다.

다음으로 상기 알고리즘을 우리나라 실 계통(2000년 첨두부하 시간 기준)에 적용하였고, 삼천포 발전기 모선을 슬랙으로 하였다. 전체 780개 모선 및 1552개의 선로수와 107개의 변압기를 갖는다. 이 중 발전기 모선은 213개, 부하 모선은 620개이다. 또한 전체 지역을 서울북부, 서울강남, 인천지역, 경인남부, 영동, 중부, 호남, 영남, 부산, 창원의 총 10개 지역으로 구분하고 있다. 각각의 사례에 대해서 한전의 선로별 할당비용을 기준으로 하였고 발전기의 소내소비 부하는 제외하였으며, 공통비용 단가는 전국적으로 균일하게 0.41(원/kWh)로 하였다.

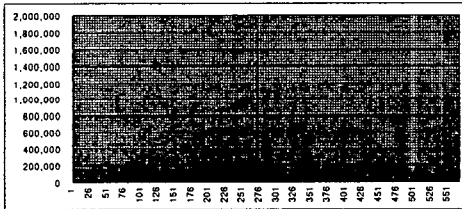


그림 3 부하모선별 송전요금 단가 (지역차등 100% 부하 100%)

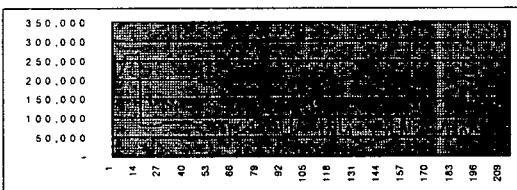


그림 4 발전기모선별 송전요금 단가 (지역차등 100% 발전기 100%)

위의 사례는 모든 비용을 부하 또는 발전기에 지역차등 요금으로 회수하는 경우를 기준으로 한 것이므로 각각의 경우에 대해서 가장 극단적인 사례이다. 그림 3에서 송전요금 단가가 뛰는 곳은 '중부대전지역의 '대산' 부하모선이다. 이는 일종의 노이즈로 판단되며 그 원인은 이 부하모선에 전력을 공급하는 발전기들이 주로 765kV 선로를 이용하기 때문인 것으로 판단된다. 송전요금단가가 가장 높은 지역은 '호남광주'이며, 다음은 '서울북부', '서울강남'이며, 송전요금단가가 가장 낮은 지역은 '영남대구'로 나타났다. 이렇게 '호남광주'의 송전요금단가가 높게 나타난 것은 'HVDC 선로' 비용의 연간 회수비용으로 판단되는 금액이 포함되어서 나타난 것으로 판단된다. 그림 4에서는 송전요금단가가 가장 높은 지역은 '서울북부지역'이며, 다음 지역으로는 '인천지역', '경인남부', '창원지역' 등의 순서이지만 그 값들의 차이는 그렇게 크지 않다. 이는 기존에 일반적으로 알려져 있는 역조류지역(예를 들면, 수도권지역)에 송전요금을 적게 부과하여 조류 방향에 대한 가격 신호를 주고자 기존 개념과 어긋나게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 호주의 부하에 대한 송전요금 방법론과 발전기에 대한 송전요금 방법론을 사례 연구를 통하여 비교 분석하였다. 사례연구 결과, 샘플 계통의 경우 발전기 송전비용 산정방법이 지역 신호를 제공하지만, 실제 통의 경우 KEMA 혹은 호주의 방법론에 근거한 발전기 송전비용 산정방법은 상당히 문제가 있는 것으로 나타났다. 이는 부하의 경우도 일부 있으나 발전기와 같이 심각하지는 않았다. 즉, 원하는 부하집중지역에서의 발전소 송전요금단가는 싸게하고, 부하집중지역에서 먼 발전소의 송전요금단가는 비싸게 하여야 한다는 대 전제를 만족시킬 수 없기 때문에 지역 신호를 제공하지 못한다. 이러한 이유는 우리나라 수도권의 송전망이 지중송전망으로 구성되어 있기 때문이며, 이러한 문제점을 고려할 수 있는 새로운 방법론의 연구가 향후 필요하다.

[참 고 문 헌]

- (1) NECA, Transmission and Distribution Pricing Review: Draft Report, March 1999.
- (2) KEMA Consulting Co., KEPCO Restructuring Programme Technical Advisor Pricing Methodology: Volume 1. Transmission Pricing Methodology, Jan. 2001
- (3) Young-Moon Park, Jong-Bae Park, Jung-Uk Lim, Jong-Ryul Won, "An Analytical Approach for Transaction Costs Allocation in Transmission System", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 4, December 1998, pp. 1407-1412.
- (4) 박종배, 이원구, 김발호, "경제성 평가 기법을 이용한 전력탄소 요금의 계산: 우편요금제를 중심으로", 전기학회 논문지A, 제49권, 제5호, 2000년 5월, pp. 199-204.
- (5) 한국전력공사, 송전선 혼잡처리 및 송전선 이용료 설정에 관한 연구, 2000. 2.
- (6) Victorian Power Exchange (System Planning and Development Division), VPX Approved Statement of Charges: Transmission Use of System Charges for Victoria, April 1998.