

발전사업자와 부하사업자의 손실특성을 고려한 송전비용산정기법에 관한 연구

김강원, 정구형, 신영균, 김발호
 홍익대학교 전기·정보·제어공학과

Transmission Pricing in consideration of loss property of groups of generator and load

Kim,Kang-Won Chung,K.H. Shin,Y.G. Balho,H.Kim
 Hongik Univ. School of Electrical Engineering

Abstract-One of many elements considered important is TR-Cost in restructured electrical power market. KEMA supposed the TR-Cost system which involved an allocation rate of groups of generator and load as 5 to 5 but it isn't based on electrical and economic theory. Also there is a defect that we can't calculate each allocation to numerous members forming the group of generators and loads. Therefore, in this paper, we propose an allocation method by using "generator focused TR MLF" & "load focused TR MLF" in consideration of economic signal.

1. 서 론

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

이러한 조건을 만족하는 효율체계로써 경제적 효율성이 뛰어나다고 알려진 한계비용법에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 송전선이용료를 산정함에 있어 무엇보다 중요한 요소는 송전손실비용이라고 할 수 있다. 전력산업은 여타의 산업구조와는 달리 공급과 수요의 불일치(不一致)에서 오는 손실비용을 각 시장참여자에게 할당을 하는 방법이 있어서 경제적 효율성을 보장해야 하는 문제점이 있다.

구조개편된 전력시장 설계에 위해서 외부 컨설팅 업체인 KEMA에 의뢰한 결과 발전사업자와 부하사업자의 송전비용 할당액을 5:5로 해야 한다고 제안하고 있으나 이 또한 어떠한 경제적·공학적 이론을 기반으로 하고 있지는 못하다. 또, 발전사업자와 부하사업자의 할당비율만을 제안하고 있을뿐 수많은 발전, 부하 사업자 각각의 할당액은 구체적으로 제시하고 있지는 못하다.

또한 지금까지는 송전요금에는 포함시키지 않고 추후 정산 과정을 거쳐왔던 손실비용 또한 송전요금에 포함시킨 보다 간단한 요금제 설계가 요구되고 있는 시점이다. 따라서 본 논문에서는 일단 KEMA가 제안한 발전사업자와 부하사업자의 할당액을 5:5로 산정한다는 전제하에 시장참여자가 각각에 대하여 손실비용을 산정한 후 수익보정 과정을 수행하여 최종적으로 각 시장참여자에 부과되는 송전선 이용료 산정방안을 제시하고자 한다.

손실비용은 전체 손실비용을 발전사업자와 부하사업자의 할당비율을 5:5로 유지한채 각 시장참여자에 대하여서 계통의 손실을 유발시키는 특성을 고려하여 각각 "발전기중심 한계 손실계수(generator focused TR MLF)"와 "부하중심 한계 손실계수(load focused TR MLF)"를

이용하여 할당한다. 또한 송전요금을 구성하는 요소중 송전회사의 필요수입은 거리용량방산제 (MW-Mile method)를 적용시키는 방법이다.

2. 본 론

2.1 손실비용 산정

본 논문에서는 송전손실이 발생하지 않을 경우의 최적 조류계산(Optimal Power Flow:이하 OPF)을 먼저 수행하고 송전손실이 발생하였을 경우 최적조류계산을 수행한 후 계통비용의 차이를 손실비용으로 산정한다. (단,계통의 혼잡은 고려하지 않는다.) OPF의 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Min Total Cost} \tag{a}$$

$$S.T \quad \sum_i Q_i = \sum_j G_j \tag{b}$$

$$\sum_i Q_i + P_{loss} = \sum_j G_j \tag{b'}$$

$$|f^*| \leq f^*_{capacity} \tag{c}$$

$$G_{min} \leq G_j \leq G_{max} \tag{d}$$

$$V_{min} \leq V_k \leq V_{max} \tag{e}$$

위의 제약조건에서 (b)는 송전손실을 고려하지 않은 계통의 수급균형식, (b')는 송전손실을 고려한 계통의 수급균형식, (c)는 선로제약식 (d)는 발전기 출력제약식, (e)는 송전선로의 전압제약식이다. 또 i 는 부하모선, j 는 발전기모선, k 는 선로이다. 따라서 위의 제약조건 하에서 OPF를 수행한다.결과는 다음과 같다.

$$LC = RC - BC$$

여기서, LC : 송전손실비용
 RC : 손실을 고려한 생산비용
 BC : 손실을 고려하지 않은 생산비용

2.2 손실비용 할당

2.1절에서 계산된 송전손실비용을 KEMA가 제안한 방식대로 할당한 결과 발전사업자와 부하사업자의 손실비용 할당액은 다음과 같다.

· 발전사업자에 할당된 손실비용 : $\frac{LC}{2} = \sum_j LC_j$

· 부하사업자에 할당된 손실비용 :

2.2.1 개별 발전사업자에 대한 손실비용 할당

발전사업자의 개별 사업자에 대한 손실비용을 할당하기 위하여 발전기중심 한계손실계수를 이용한다. 발전기중심 한계손실계수(generator focused TR MLF)는 다음과 같다.

$$MLF_j = \frac{\Delta P_j}{\Delta P_{L,total}} = \frac{\Delta P_{L,total} + \Delta P_{j,loss}}{\Delta P_{L,total}} = 1 + \frac{\Delta P_{j,loss}}{\Delta P_{L,total}}$$

여기서, MLF_j : 임의의 발전기 j 의 한계손실계수
 ΔP_j : 모선 j 의 발전량의 증가량
 $\Delta P_{L,total}$: 계통전체의 단위 부하증가량
 $\Delta P_{j,loss}$: 부하증가에 의한 손실증가량

또 발전사업자 전체에 할당된 손실비용은 $\frac{LC}{2}$ 이므로 각 발전모선에 할당되는 손실비용은 다음과 같다.

$$LC_j = \frac{P_j}{P_{j,total}} \times \frac{MLF_j}{MLF_{j,total}} \times \frac{LC}{2}$$

여기서, LC_j : 모선 j 가 부담하는 송전손실비용
 P_j : j 모선의 발전량

손실비용을 산정함에 있어 MLF계수를 적용하는데 각 발전사별로 발전량이 다르기 때문에 비례적 분담 원리(proportional allocation principle)를 적용하였다.

2.2.2 개별 부하사업자에 대한 손실비용 할당

부하사업자의 개별 사업자에 대한 손실비용을 할당하기 위하여 부하중심 한계손실계수를 이용한다. 부하중심 한계손실계수(load focused TR MLF)는 다음과 같다.

$$MLF_i = \frac{\Delta Q_i + \Delta Q_{i,loss}}{\Delta Q_i} = 1 + \frac{\Delta Q_{i,loss}}{\Delta Q_i}$$

여기서, MLF_i : 임의의 부하 i 에 한계손실계수
 ΔQ_i : 모선 i 의 부하의 단위 증가량
 $\Delta Q_{i,loss}$: 모선 i 의 단위 부하증가에 의한 손실증가

또 부하사업자 전체에 할당된 손실비용은 $\frac{LC}{2}$ 이므로 각 부하모선에 할당되는 손실비용은 다음과 같다.

$$LC_i = \frac{Q_i}{Q_{i,total}} \times \frac{MLF_i}{MLF_{i,total}} \times \frac{LC}{2}$$

또, 손실비용을 산정함에 있어 MLF계수를 적용하는데 각 부하별로 요구부하량이 다르기 때문에 비례적 분담 원리(proportional allocation principle)를 적용하였다. 즉, 모선별부하 가중평균법을 적용하였다.

2.3 필요수입 산정

서론부분에서 언급하였듯이 송전비용을 산정함에 있어 손실비용과 더불어 감가상각비, 일반관리비, 설비증설에 대한 재정확보액등을 감안한 송전회사 필요수입이 있다. 이는 손실발생특성과는 상관없는 순수한 송전선을 이용한 요금이므로 거리용량평산제(MW-Mile Method)로 할당하고자 한다.

$$EC = RR - LC$$

여기서, EC : 손실비용을 제외한 필요수입
 RR : 송전회사의 총 필요수입

2.4 필요수입 할당

2.3절에서 계산된 송전회사의 필요수입을 KEMA가 제안한 방식대로 할당한 결과 발전사업자와 부하사업자의 필요수입 할당액은 다음과 같다.

· 발전사업자에 할당된 필요수입 : $\frac{EC}{2} = \sum_j EC_j$

· 부하사업자에 할당된 필요수입 : $\frac{EC}{2} = \sum_i EC_i$

2.4.1 개별 발전사업자에 대한 필요수입 할당

발전사업자의 개별 사업자에 대한 필요수입을 할당하기 위해 거리용량평산제를 적용한다.

발전사업자 전체에 할당된 필요수입은 $\frac{EC}{2}$ 이므로 각 발전모선에 할당되는 필요수입은 다음과 같다.

$$EC_j = \frac{P_j}{P_{j,total}} \times \frac{EC}{2}$$

2.4.2 개별 부하사업자에 대한 필요수입 할당

부하사업자의 개별 사업자에 대한 필요수입을 할당하기 위해 거리용량평산제를 적용한다.

부하사업자 전체에 할당된 필요수입은 $\frac{EC}{2}$ 이므로 각 부하모선에 할당되는 필요수입은 다음과 같다.

$$EC_i = \frac{Q_i}{Q_{i,total}} \times \frac{EC}{2}$$

2.5 각 사업자에 대한 송전비용 할당액

· 발전사업자의 각 모선에 할당된 송전비용

$$TC_j = LC_j + EC_j$$

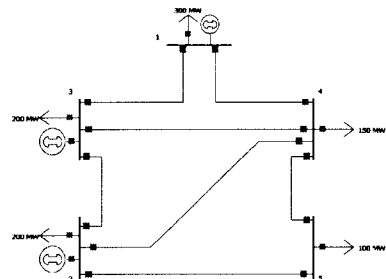
여기서, TC_j : 발전모선 j 의 송전비용
 LC_j : 발전모선 j 의 송전손실비용
 EC_j : 발전모선 j 의 손실비용 이외의 비용

· 부하사업자의 각 모선에 할당된 송전비용

$$TC_i = LC_i + EC_i$$

여기서, TC_i : 부하모선 i 의 송전비용
 LC_i : 부하모선 i 의 송전손실비용
 EC_i : 부하모선 i 의 손실비용 이외의 비용

2.6 사례연구



사례연구 계통은 위의 그림에서 제시한 5Bus-7Line 계

동이며 편의상 부하의 소비형태는 비탄력적이라고 가정한다. 아울러 송전계통의 혼잡은 고려하지 않으며 DC계통이라고 가정한다. 또 발전기의 비용함수는 다음에 주어진 (표 1)과 같다.

비용함수(won/Mw)	
$C(G_1)$	$0.003124G_1^2 + 8.840G_1 + 1122.000$
$C(G_2)$	$0.004180G_2^2 + 9.700G_2 + 620.000$
$C(G_3)$	$0.004967G_3^2 + 10.340G_3 + 450.000$

(표 1)

부하구성은 다음의 (표 2)와 같다.

Q_1	300.00(Mw)
Q_2	200.00(Mw)
Q_3	200.00(Mw)
Q_4	150.00(Mw)
Q_5	100.00(Mw)

(표 2)

위의 발전단과 부하단의 특성을 고려한 최적조류계산의 결과는 다음의 (표 3)과 같다. (Gams Program 이용)
(손실은 각 선로 모두 0.001 [P.U]라고 가정)

	발전량(Mw)		발전비(won/Mw)		총비용(won)	
	손실전	손신후	손실전	손신후	손실전	손신후
G_1	506.61	426.86	12.01	11.51	6402.22	5464.67
G_2	275.75	331.15	12.01	12.47	3612.66	4290.52
G_3	167.64	210.24	12.01	12.43	2322.94	2843.40
Sum	950.00	968.25	-	-	12337.82 (BC)	12598.59 (RC)

(표 3)

따라서 송전손실비용은 $LC=RC-BC$ 이므로 260.77 임을 알 수 있다. 따라서 KEMA가 제안한 방식인 5:5로 할당비용을 적용한다는 가정하에 발전사업자와 부하사업자에 각각 130.385만원의 손실비용이 할당된다. 이때 송전회사의 필요수입을 500이라고 가정한다면 $500-LC=239.23$ 만원의 비용도 5:5로 할당될 것이다. 요약하면 다음의 (표 4)와 같다.

	손실비용	손실비용제외분	할당액 합계
발전사업자	130.385	119.615	250
부하사업자	130.385	119.615	250
합계	260.77	239.23	500

(표 4)

이제 각 군(group)별로 할당된 금액을 각 군을 구성하는 시장참여자에게 할당하여 보자. 언급하였듯이 손실비용은 모선별 가중평균 MLF값을 이용하여 분배하고 손실비용을 제외한 필요수입은 거리용량방산계를 적용하여 할당한다.

각 발전사, 부하의 MLF 계수와 모선별 가중평균은 다음의 (표 5)와 같다.

	MLF	가중평균 MLF	손실분담율	손실비용 제외분 분담율
G_1	0.322	0.142	39.91%	44.09%
G_2	0.433	0.148	41.59%	34.20%
G_3	0.303	0.066	18.50%	21.71%
Sum	1.059	0.356	100%	100%
Q_1	0.979	0.309	29.83%	37.77%
Q_2	1.012	0.213	20.56%	25.18%
Q_3	1.017	0.214	20.66%	25.18%
Q_4	1.119	0.177	17.05%	18.89%
Q_5	1.172	0.123	11.90%	12.59%
Sum	5.299	1.036	100%	100%

(표 5)

위의 계산된 손실비용을 바탕으로 각 사업자간 손실비용 할당액과 손실비용을 제외한 필요수입을 할당함으로써 최종적으로 분담하는 송전비용을 도출할 수 있다.(표 6)

	손실비용 분담액	손실비용 제외분 분담액	송전비용 (제안된 방법)	MW-Mile Method
G_1	52.042	52.733	104.775	110.215
G_2	54.223	40.909	95.132	85.502
G_3	24.120	25.973	50.093	54.283
Sum	130.385	119.615	250.000	250.000
Q_1	38.895	37.773	75.668	78.947
Q_2	26.804	25.182	51.986	52.632
Q_3	26.937	25.182	52.118	52.632
Q_4	22.229	18.886	41.115	39.474
Q_5	15.520	12.592	28.112	26.316
Sum	130.385	119.615	250.000	250.000

(표 6)

3. 결 론

송전선 이용료를 시장참여자가 모두가 동의할 수 있게 합리적으로 배분함으로써 시장의 발전과 공정한 운영을 꾀할 수 있다. 전력계통은 기타 재화들과는 달리 전송과정에서 물리적 손실이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 각 시장참여자의 손실발생 특성을 한계손실계수(MLF)를 이용하여 분석한 후 그 특성에 따른 손실비용 방안을 제시하였다. 즉, 계통에 손실을 많이 발생시키는 사업자에게는 더 많은 할당을 하고 계통에 손실을 비교적 적게 발생시키는 사업자에게는 더 적게 할당하는 분배방안을 제시함으로써 각 시장참여자의 경제적 시그널을 고려함과 동시에 장기적으로는 각 시장참여자가 손실발생을 억제하는 방향으로의 정책결정을 유도하기 위한 요금체제이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여
기초전력공학공동연구소(02-전-01) 주관으로
수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 김발호, 박종배, "송전선 이용료 산정기법"
- [2] 허든, 김발호, 박종근, "경쟁적 전력시장 하에서의 최적조류 계산 응용에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 50A권 8호, P379-P387, 2001년 8월
- [3] "Treatment of Loss Factors In The National Electricity Market", NEMMCO, 1999년 11월
- [4] 전력연구원, "현물시장에의 적용을 위한 한계송전손실계수 산정 알고리즘개발에 관한 연구", 2003년 6월
- [5] 문영환외 3인, "부하수준별 한계손실계수 변동특성분석", 대한전기학회 논문지, 2002년 6월