

MLF를 이용한 손실비용할당을 고려한 송전비용산정방안에 관한 연구

김강원 정구형 신영균 김발호  
 홍익대학교 전기·정보·제어공학과

Transmission Pricing in consideration of Transmission-Loss cost allocation usi

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

**Abstract** - Embedded cost pricing is easy to be applied in the calculation of transmission cost and guarantees perfect recovery of revenue requirement. However, it caused in equity of cost distribution in the restructured electrical market. Though, marginal cost pricing has been studied to be applied to economic signal of members. But it has the cumbersome processes of the revenue reconciliation. This paper presents a new recovery of revenue requirement method that is satisfied with economic signal, using MLF.

1. 서 론

전력산업분야에 경쟁을 도입함에 따라 새로 중요시되고 있는 요소 중의 하나가 송전선 이용료이다. 송전선 이용료는 다수의 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. 일반 시장에서의 거래와는 달리 전력계통에서의 거래의 가장 커다란 특징은 손실이 발생한다는 것이다. 따라서 송전선 이용료의 산정에 있어서 손실비용 할당에 관한 합리적인 기준이 있어야만 시장참여자들이 동등하게 전력거래에 참여할 수 있는 환경이 마련된 것이라고 할 수 있다.

이러한 송전비용산정기법은 크게 총괄비용법과 한계비용법으로 구분할 수 있는데, 총괄비용법은 적용이 간편하고 비용의 완벽한 회수를 보장한다는 장점 때문에 기존의 전력시장에서는 널리 사용되어 왔지만 규제완화된 전력시장에서는 비용배분의 공평성 문제를 야기시킬 소지가 있고, 경제적 측면의 최적성이나 계통운용 조건의 반영에도 다소 문제가 있다. 이러한 총괄비용법의 대안으로 한계비용법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한계비용법은 시장참여자의 경제적 신호를 최대한 반영하여 전력거래의 경제적인 인센티브를 주기 위한 방법이다. 총비용(자본비 및 변동비)을 설비 이용상황에 따라 각 송전선이용자에게 적절히 배분하는 총괄비용법과는 달리 운전비만을 이용하여 시장원리 및 생산원리에 의해 비용을 회수하는 방법이기 때문에 필요수입 전체를 완벽하게 회수할 수 없기 때문에 복잡한 수익보정(revenue reconciliation)과정을 적용해야하는 단점이 있다. 따라서 현 계통상황에서는 한계비용법을 일괄적용시키는 것에는 현실적 제약과 번거로움이 있다.

본 논문에서는 필요수입을 완벽하게 회수함과 동시에 시장참여자에게 경제적 신호도 제공하기 위한 새로운 송전 손실비용할당기법을 통한 새로운 송전비용 배분방법을 제안하고자 한다.

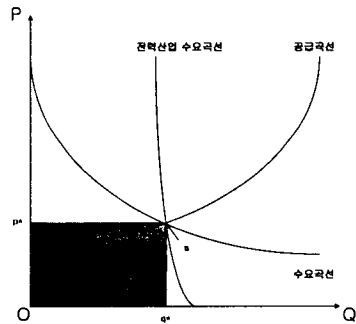
이 방법은 계통의 모선의 MLF계수를 이용하여 손실비용을 할당하고 필요수입에서 손실요금을 제외한 부분은 기존의 거리용량병산제(Megawatt-Mile Method)를 적용하는 방법이다. 각 모선의 MLF계수만 알고 있다면 복잡

한 수익보정 방법을 적용하지 않고도 시장참여자의 경제적 신호를 반영하면서 필요수입의 완벽한 회수도 보장할 수 있는 간단한 방법이다.

2. 본 론

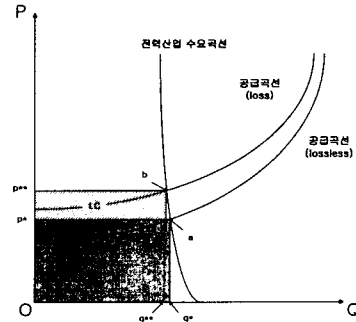
2.1 시장가격과 송전손실비용

경제학적으로 다른 제화와 같이 전력산업에서의 전력요금 또한 시장가격과 균형거래량은 발전사업자의 공급함수와 소비자의 수요함수를 이용하여 결정할 수 있다. 다만 소비자의 수요함수를 고려할 때 일반 제화와는 달리 전력산업의 가장 큰 특징중 하나인 수요비탄력성을 고려한다. (그림 1)의 그래프에서  $p^*$ ,  $q^*$ 는 시장균형점이며,  $p^*$ 는 균형시장가격,  $q^*$ 는 균형거래량이며 소비자가 지불하는 금액은 빗금친 부분( $0-p^*-a-q^*$ )이 될 것이다.



(그림 1)수요공급곡선

하지만, 전력은 발전사업자로부터 송전계통을 통해 소비자에게 전달되는 과정에서 물리적 손실(transmission loss)이 발생한다. 따라서 소비자의 실수요보다 손실을 고려하여 더 많은 발전을 하여야 한다.



(그림 2) 손실 有·無에 따른 송전손실비용

(그림 2)에서 송전손실을 고려하지 않은 경우에 소비자가 부담하는 비용은  $O-p^*-a-q^*$ 와 같다. 하지만 송전손실을 반영한다면 균형거래량은  $q^*$ 에서  $q^{**}$ 로 감소할 것이고 균형가격 역시  $p^*$ 에서  $p^{**}$ 로 상승할 것이다. 전력산업의 특성상 소비자는 비탄력적으로 경제활동을 한다고 가정하면  $q^* \approx q^{**}$  라고 할 수 있다. 따라서 소비자가 부담하는 총금액( $O-p^{**}-b-q^{**}$ )에서 손실이 발생하지 않았을 때 소비자가 부담하는 금액( $O-p^*-a-q^* \approx q^{**}$ )을 차감한 금액인  $LC(p^*-p^{**}-b-c)$ 가 송전손실비용이 될 것이다.

## 2.2 손실 有·無에 따른 각각의 최적조류계산

본 연구에서는 부하의 소비형태가 비탄력적이고 송전계통의 혼잡은 고려하지 않는다고 가정하고 송전손실이 발생하지 않을 경우의 최적조류계산을 먼저 수행하고 그 뒤 실제통과 같은 송전손실이 발생하는 경우의 최적조류계산을 연차적으로 수행하고 손실적용 전·후의 생산비용의 차이를 송전손실비용으로 생각한다. 따라서 최적조류계산의 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \text{Total Cost} & (a) \\ \text{S. T} \quad & \sum_i Q_i = \sum_j G_j & (b) \\ & \sum_i Q_i + P_{\text{loss}} = \sum_j G_j & (b') \\ & |f^k| \leq f^k_{\text{capacity}} & (c) \\ & G_{\min} \leq G_j \leq G_{\max} & (d) \\ & V_{\min} \leq V_k \leq V_{\max} & (e) \end{aligned}$$

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 최적조류계산(OPF)를 수행한다. 결과는 다음과 같다.

$$LC = RC - BC$$

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

## 2.3 MLF를 이용한 송전손실 비용 할당

각 모선마다 고유한 손실계수(Loss Factor)를 가지고 있다. 이를 적용시켜 송전손실비용을 분담시키는데 일반적으로 PF(Penalty Factor), TLF(Transmission Loss Factor), MLF(Marginal Loss Factor)를 적용하고 있다. 본 연구에서는 MLF를 이용하여 송전손실비용을 할당하고자 하는데 MLF의 정의는 다음과 같다.

$$MLF = 1 + \frac{\partial \text{loss}}{\partial \text{load increment}}$$

즉 한 개의 단위모선에서 부하를 1단위 증가시킬 때 계

통전체의 손실을 얼마큼 유발시키는가에 대한 지표이다. 계통의 모든 모선의 MLF를 구한 후 각 모선에 손실유발 가중치를 부여하여 송전손실비용을 산정하는 방법이다. MLF가 상대적으로 높은, 즉 계통의 손실을 많이 증가시키는 모선에는 더 많은 송전손실비용을 할당하고 MLF가 상대적으로 작은, 즉 계통의 손실을 적게 증가시키는 모선에는 비교적 적은 송전손실비용을 할당하는 방법으로 경제적 신호를 줄 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{즉,} \\ MLF_{\text{total}} &= \sum_i MLF_i \\ LC_i &= \frac{MLF_i}{MLF_{\text{total}}} \times LC \end{aligned}$$

여기서,  $MLF_i$ : 모선  $i$ 의 MLF계수  
 $MLF_{\text{total}}$ : 각 모선의 MLF계수의 총합  
 $LC_i$ : 모선  $i$ 가 부담하는 송전손실비용  
 $LC$ : 계통 전체의 송전손실비용

## 2.4 필요수입액의 배분

송전회사는 송전선 이용료 이외에 앞으로의 설비투자 확장, 송전선로의 유지·보수를 위한 비용등과 같은 일정 수준의 필요수입액을 확보하여야 한다. 따라서 필요수입액을 각 사용자에게 배분하기 위하여 경제적 신호를 고려한 합리적인 요금체계가 있어야 한다. 본 논문에서는 송전손실부분은 위에서 언급한 MLF계수를 이용하여 할당을 하고 손실비용을 제외한 부분의 필요수입액은 송전선 사용량에 따른 거리용량병산제(Mw-Mile Method)를 적용하는 새로운 방법을 제안하고자 한다.

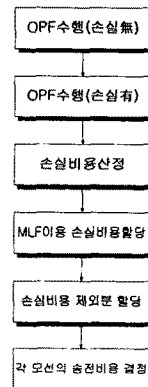
$$\begin{aligned} \text{즉,} \\ EC &= RR - LC \\ EC_i &= \frac{Q_i}{\sum_j Q_j} \times EC \end{aligned}$$

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

따라서 각 모선에 할당되는 송전요금은 다음과 같다.

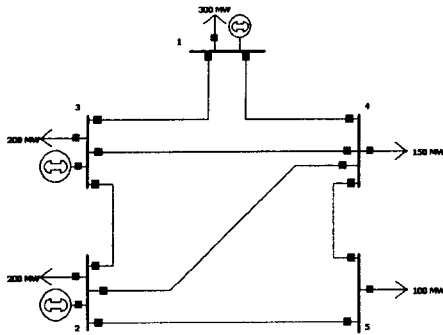
$$TC_i = LC_i + EC_i$$

여기서,  $TC_i$ : 모선  $i$ 의 송전요금  
 $LC_i$ : 모선  $i$ 의 송전손실요금  
 $EC_i$ : 모선  $i$ 의 손실이외의 송전요금  
 이를 요약하면 다음 (그림3)과 같다.



(그림3)제안방법의 절차

## 2.5 사례연구



(그림 4)

사례연구 계통은 (그림 4)에 제시한 5모선, 7선로 계통이며 편의상 부하의 소비형태는 고정적이며 송전계통의 혼잡은 고려하지 않으며 DC계통이라고 가정하였다. 또 발전기의 비용함수는 다음에 주어진 (표 1)과 같다.

	비용함수(won/Mw)
$C(G_1)$	$0.002124G_1^2 + 11.840G_1 + 1122.000$
$C(G_2)$	$0.001080G_2^2 + 13.700G_2 + 620.000$
$C(G_3)$	$0.009167G_3^2 + 10.340G_3 + 450.000$

(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.  
(손실은 각 선로 모두 0.1PU라고 가정)

	발전량(Mw)		발전비(won/Mw)		총비용(won)	
	손실전	손실후	손실전	손실후	손실전	손실후
$G_1$	540.69	400.82	14.14	13.54	8144.68	6211.78
$G_2$	202.21	345.10	14.14	14.45	3434.56	5476.42
$G_3$	207.10	224.35	14.14	14.45	2984.51	3231.22
<b>Sum</b>	<b>950.00</b>	<b>970.27</b>	-	-	<b>14563.75</b> (BC)	<b>14919.42</b> (RC)

(표 3)

따라서 송전손실비용은  $LC = RC - BC$  이므로 355.67 임을 알 수 있다.

또 각 모선마다 MLF를 구하고 그에따른 손실비용(LC) 할당액과 필요수입을 500이라고 했을 때 각 모선의 부하가 담당하는 송전비와 기존의 거리용량병산제를 통한 각 모선의 송전요금의 비교는 다음의 (표 4)와 같다.

	MLF계수 (손실분담율)	손실비 할당액	송전비 할당액	기존의 할당액
$Bus_1$	0.989(18.48%)	65.73	111.31	157.90
$Bus_2$	1.004(18.76%)	66.74	97.12	105.26
$Bus_3$	1.017(19.01%)	67.60	97.98	105.26
$Bus_4$	1.140(21.30%)	75.77	98.57	78.95
$Bus_5$	1.201(22.45%)	79.83	95.02	52.63
<b>Sum</b>	<b>5.351(100%)</b>	<b>355.67</b>	<b>500.00</b>	<b>500.00</b>

(표 4)

## 3. 결 론

MLF계수가 상대적으로 높은 모선 즉, 계통의 손실을 많이 유발시키는 모선들의 경우 총괄비용법의 한 방법인 거리용량병산제로 송전비용을 할당했을때보다 더 많은 송전비용이 부과됨을 사례연구를 통하여 확인하였다.

이는 계통의 손실을 상대적으로 많이 발생하는 모선부하에게 더 많은 손실비용을 할당함으로써 시장참여자의 경제적 신호(손실유발비용)를 고려함과 동시에 필요수입 중 손실비용 이외의 비용에 대하여서는 송전선 이용용량에 따른 할당을 하는 비례적 분담원리를 적용한 것이다. 이 방법은 계통의 고유한 특성인 MLF계수를 알고 있다면 1차 연립방정식의 해결을 통하여서 시장참여자의 경제적 신호를 고려함과 동시에 필요수입의 완벽한 회수를 보장할 수 있는 간단한 송전비용산정을 가능하게 한다. 또 이와 같은 송전비용산정방안을 도입한다면 각 모선은 자신의 손실유발특성을 개선하기 위하여 송전선로의 임피던스를 줄이는 방법으로 송전선을 교체하는 파급효과를 불러오게 되어 전체계통의 손실을 감소시킴으로써 시장참여자 모두의 수익개선을 보장하는 결과를 가지고 올 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축지원사업(I-2002-0-042-5-00)으로 수행된 논문입니다.

## (참 고 문 헌)

- [1] 김발호, 박종배, "송전선 이용료 산정기법"
- [2] 허준, 김발호, 박종근, "경제적 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] A.J.Conejo, "Transmission Loss Allocation: A Comparison of Different Practical Algorithms", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.17, P571-P576, 2002년 8월
- [5] Antonio Gomez, "Fair Allocation of Transmission Power Losses", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.15, P184-P188, 2000년 2월
- [6] Ramon Nadira, "Bulk Transmission System Loss Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.8, P405-P416, 1993 5월
- [7] Goran Strbac, "Allocating Transmission System Usage on the Basis of Traceable Contribution of Generators and Loads to Flows", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.13, P527-P534, 1998년 5월