

도매경쟁 전력시장에서 기준 모선의 위치에 따른 한계손실계수의 변동이 전력거래에 미치는 영향 분석

국경수, 문영환, 오태규, 옥기열, 김성수
한국전기연구원, 전력거래소

Analysis of the impact of the marginal loss factor change caused by the reference node change on the electric power trading in Korean Wholesale Electricity Market

Kook Kyung-Soo, Moon Young-Hwan, Oh Taekyoo, Ok Kiyoul, Kim Sung-Soo
KERI, KPX

Abstract - This paper describes the proposed application of MLF(marginal loss factor) in korean wholesale electricity market in accordance with the proposal of wholesale market design, and presents the analysis result of the impact of MLF change on the electric power trading when the reference node for the MLF calculation is changed.

1. 서 론

현재 진행 중인 도매경쟁 전력시장의 설계(안)에 따르면, 급전계획의 경제적 효율성을 증대하고, 부하 또는 발전기에 입지상의 가격 신호를 제공하며, 전력망 투자에 대한 의사결정에 적절한 동기를 제공하기 위해 전력망의 한계손실계수가 전력시장에 도입된다. [2] 이러한 한계손실계수가 적용될 경우 거래소에 제출된 발전기와 부하의 입찰가격은 해당 접속점에 대한 한계손실계수로 나뉘으로써 기준모선에서의 가격으로 등가화 된 후 급전계획에 반영되어 이에 따른 우선순위로 시장가격이 결정되고, 다시 각 발전기와 부하는 급전계획에 포함된 전력에 대해 시장가격에 해당 접속점의 한계손실계수를 곱한 가격으로 지불을 받게 된다. 따라서 발전사업자의 경우는 자신에게 적용되는 한계손실계수가 클수록, 그리고 전력구매자의 경우는 자신에게 적용되는 한계손실계수가 작을수록 급전계획에서는 유리하게 작용된다.

이와 같이 한계손실계수는 각 접속점에서의 전력거래를 기준모선에서의 전력거래로 등가화 하기위한 승수로 사용되는 만큼 시장참여자들의 전력거래 입찰경쟁 과정과, 전력거래에 대한 거래금액의 정산과정에 직접적인 영향을 주기 때문에 이에 대한 시장참여자들의 정확한 이해가 필요하다고 할 수 있으며 이와 관련된 논쟁 또한 있어온 것이 사실이다. 특히 한계손실계수는 그 기준모선의 위치에 따라 다르게 계산될 수 있는데, 이에 따라 입찰가격이 급전계획에 반영되는 등가가격과, 전력거래에 참여한 시장참여자에 대한 거래금액이 달라지기 때문에 이러한 변동이 전력거래에 어떠한 영향을 주게 되는지에 대한 이해가 필요하다고 생각된다.

이를 위해 본 논문에서는 현재 도매경쟁 전력시장의 설계(안)에 따른 시장운영 및 정산에서의 한계손실계수의 적용을 간략히 기술하고, 기준 모선의 위치에 따른 한계손실계수의 변동이 전력거래에 어떠한 영향을 줄 수 있는지를 한전 설계통에 대한 사례연구를 통해 구체적으로 분석하여 향후 도매경쟁 전력시장에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 한계손실계수의 적용방안

2.1 한계손실계수의 적용목적

우리나라 전력시장에서는 전력시장의 효율성을 제고하기 위해 현물시장의 시장가격을 한계가격(Marginal price)으로 적용하며, 한계손실계수를 이용하여 근사적으로 전력망 손실을 고려한 각 모선별 가격(Nodal price)을 계산하는 것을 기본 원칙으로 하고 있다. [2]

전기에너지는 그 물리적 특성으로 인해 반드시 전력망을 통해 거래(즉, 수송)되며, 이때 전기적 손실이 발생하게 되는데 이러한 전력망 손실은 결국 전력의 공급비용을 증가시키기 때문에 전력시장의 효율성 제고 측면에서 전력망 손실의 최소화를 고려해야한다. 모선별 한계손실계수의 적용은 이를 위한 근사적인 방법으로써 발전사업자나 전력구매자의 입찰에 대해 그 제안 가격을 해당 시장참여자가 접속한 모선의 한계손실계수로 나누어 전력망 손실이 고려된 후의 값으로 환산, 즉 기준모선에서의 거래제안으로 환산한 후에 입찰에 반영함으로써 보다 효율적인 전력거래가 이루어지게 된다. 또한 이를 통해 기존 및 신규 시장참여자가 자신의 발전기나 부하를 전력망 손실 측면에서 유리한 지점에 접속하도록 유도할 수 있으며, 전력망 투자를 위한 의사결정에 적절한 동기를 제공할 수 있다.

2.2 한계손실계수의 정의

한계손실계수는 해당 모선(접속점)에서의 단위 부하 증가로 인해 발생하는 전력망 전체의 손실 변동을 나타내기 위한 것으로, 이는 해당되는 부하의 증가를 기준모선에서 공급할 때를 기준으로 산정된다. 즉, 한계손실계수는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 MLF_i &= \frac{\text{기준 모선에서의 발전량 변동분}}{\text{i 모선에서의 부하량 변동분}} \\
 &= \frac{\text{부하량 변동분} + \text{전력망손실 변동분}}{\text{부하량 변동분}} \\
 &= 1 + \frac{\text{전력망손실 변동분}}{\text{부하량 변동분}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

이에 따라 기준모선의 한계손실계수는 1이 되며, 어떤 모선의 한계손실계수가 1보다 크(작)다면, 이 모선에서의 단위 부하증가를 기준모선에서 공급할 때 계통 전체의 손실이 증가(감소)됨을 의미한다.

2.3 시장가격의 결정

전력시장에서 전기에너지의 시장가격은 시장참여자들의 입찰자료에 의한 공급-수요법칙에 따라 결정되게 되는데 이때 각 시장참여자의 입찰가격은 해당 시장참여자가 접속된 모선의 한계손실계수로 나누어진 후에 입찰경쟁에 반영된다. [2] 즉, 발전사업자의 경우는 접속된 모선의 한계손실계수가 작을수록, 전력구매자의 경우는 접속된 모선의 한계손실계수가 클수록 입찰경쟁에 유리하게 된다. 이러한 방법을 통해 계통손실을 고려한 효율적인 급전계획이 이루어 질 수 있다. 따라서 입찰에서 각 시장참여자의 제안가격은 한계손실계수가 적용된 후의

값으로 우선순위가 결정된다. 따라서, 이를 기준으로 정해진 시장가격 또한 급전된 한계발전기의 입찰가격을 해당 모선의 한계손실계수로 나눈 가격이 된다.

시장가격 =

$$\frac{\text{한계발전기 입찰가격}}{\text{한계발전기 접속모선의 한계손실계수}} \quad (2)$$

2.4 거래금액의 계산

전력거래소는 전력거래에 참여한 시장참여자에 대해 각각의 거래금액을 계산하여 이를 발전사업자에게 지불하고, 전력구매자로부터 지불받는다. 이러한 거래금액은 계량된 전기 에너지와 시장가격을 기준으로 계산되는데 이때 시장가격에는 다시 각 시장참여자가 접속된 모선의 한계손실계수가 곱해진다. [2] 즉, 전력거래에 참여한 발전사업자의 경우는 모선의 한계손실계수가 클수록, 전력거래에 참여한 전력구매자의 경우는 접속된 모선의 한계손실계수가 작을수록 거래금액의 계산에서 유리하게 된다. 하지만 이는 결국 입찰참여시에 입찰가격을 한계손실계수로 나누었던 것을 다시 환원하는 셈이 된다.

$$\begin{aligned} \text{거래금액} &= \text{계량에너지} \times \text{시장가격} \\ &\times \text{시장참여자, 접속모선의 한계손실계수} \end{aligned} \quad (3)$$

3. 한계손실계수의 계산 및 논점

3.1 한계손실계수의 계산

우리나라 전력시장에서는 각 거래기간(30분)마다 전력거래에 대한 시장참여자들의 입찰경쟁이 이루어지므로 이에 대한 한계손실계수가 요구된다. 즉, 각 모선별로 각 거래기간에 대한 한계손실계수가 적용되어야 한다. 이를 위한 구체적인 적용방안은 관련 연구가 진행 중이나, 한계손실계수는 거래기간의 계량자료를 기준으로 하며, 호주 전력시장의 경우에는 역년 동안의 각 거래기간에 대한 계량자료를 기준으로 각 거래기간에 대한 각 모선별 한계손실계수를 계산한 후, 이를 역년 동안에 대해 부하가중 평균한 값을 각 모선별 연중 단일 값으로 다음해의 각 거래기간에 적용하고 있다. [3]

또한 이를 위한 계산은 일반적으로 조류계산 알고리즘을 적용할 수 있으며, 이때 한계손실계수의 기준모선을 조류계산 알고리즘의 슬랙 모선으로 간주하여 계산한다. 즉, 특정 모선에서의 부하 증가를 기준모선에서의 발전기가 공급하는 것을 가정하여 특정 모선에서의 부하증가가 전력망 전체의 손실 변동에 미치는 영향을 나타내는 한계손실계수의 정의를 고려할 때 조류계산 알고리즘에서의 슬랙 모선이 이를 적절히 표현한다고 볼 수 있다. [3] 기준모선을 슬랙모선으로 한 경우, 조류계산을 이용한 한계손실계수의 계산은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} MLF_i &= \frac{\text{기준 모선에서의 발전량 변동분}}{\text{i 모선에서의 부하량 변동분}} \\ &= \frac{\text{슬랙 모선에서의 발전량 변동분}}{\text{i 모선에서의 부하량 변동분}} \end{aligned} \quad (4)$$

3.2 기준 모선의 위치에 따른 한계손실계수의 변동

전력시장에서 한계손실 계수는 각 접속점에서의 전력거래를 기준모선에서의 전력거래로 등가화 하기 위한 승수로 사용되는 만큼 기준모선의 위치에 따라 해당 접속점에 대한 한계손실계수가 달라지면, 이에 따라 급전계획에 반영되는 등가가격도 달라지기 때문에 이러한 변동이 전력거래에 어떠한 영향을 줄 수 있는지에 대한 이해가 필요하다. 최근 이와 관련된 논쟁이 다소 있어온 것이 사실인데 이에 따르면 기준모선의 위치에 따른 한계손실계수의 변동이 전력거래에 긍정하지 못한 영향을 줄 수 있으며, 조류계산에 의한 계산방법이 전력망의 제약

조건 등을 고려할 수 없기 때문에 최적조류계산 등의 적용이 필요하다는 주장도 있었다. 그러나 현재 진행 중인 우리나라의 도매경쟁 전력시장의 설계에서 수립된 한계손실계수의 적용방안에 따르면 기준모선의 위치에 따라 각 모선의 한계손실계수 자체는 변경될 수 있으나, 이러한 변경은 각 모선별로 동등하게 나타나기 때문에 입찰경쟁에 차등을 주지 않으며 각 시장참여자들의 거래금액 또한 동일하게 산정된다. 또한 한계손실 계수는 계량자료를 기준으로 계산되기 때문에, 이미 전력망 제약이 고려된 계통 상태에 기준 되므로 전력망의 제약조건을 반영하기 위한 별도의 계산은 필요 없다. 다만 기준 모선의 변경에 따라 전력시장의 시장가격이 변경될 수 있는데 이는 전력시장의 대표가격이 변경되는 것이기 때문에 시장참여자들에게 불공평한 영향을 주는 것은 아니다. 본 논문에서는 한전 설계통을 대상으로 한 사례연구를 통해 이를 분석해본다.

4. 사례연구

4.1 기준모선의 위치에 따른 한계손실계수의 변동

본 절에서는 한전 설계통에 대해 다음 표1.과 같이 기준모선을 수도권, 호남, 영남, 남부 지역의 모선으로 하는 4가지 경우를 가정하여 154kV 이상의 모선들에서 한계손실계수가 어떻게 계산되는지를 살펴본다.

표 1. 기준모선의 위치

	CASE I	CASE II	CASE III	CASE IV
기준모선	서인천	호남	울산	삼천포

각 Case별로 선정된 기준모선을 기준으로 한전계통의 154kV 이상의 모선에 대한 한계손실계수를 계산한 결과를 도식화 하면 다음 그림1.과 같다.

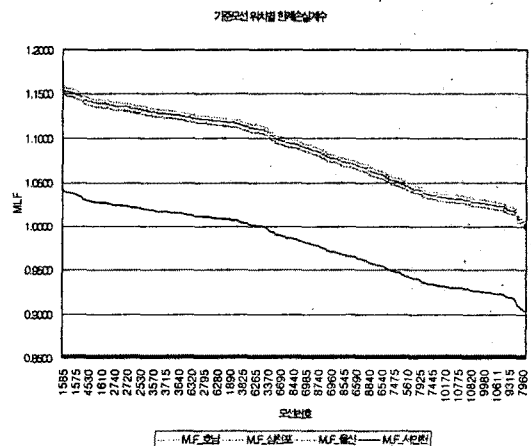


그림 1. 기준모선 위치별 한계손실계수

그림 1.은 각 경우별 한계손실계수의 계산결과를, CASE IV(삼천포모선 기준)에서 계산된 한계손실계수의 크기를 기준으로 한 모선번호의 순서로 재 정렬하여 나타낸 것으로 이를 통해 기준모선의 변동이 각 모선의 한계손실계수 자체에만 영향을 줄 뿐 이를 적용한 입찰경쟁에는 영향을 주지 않음을 확인할 수 있다. 또한, 기준모선의 위치에 관계없이 우리나라의 수도권지역에 위치한 모선들의 한계손실계수가 남부지역에 위치한 모선들의 한계손실계수 보다 크게 계산된 것은, 전력이 전반적

으로 남부지역에서 수도권지역으로 공급되고 있음을 나타낸다.

4.2 기준모선의 위치에 따른 거래금액의 계산

본 절에서는 위에서 정의된 각 경우에 대해 전력거래에 참여한 임의의 발전사업자와 전력구매자의 거래금액이 어떻게 변경되는지를 살펴본다. 이를 위해 사례연구에 적용된 임의의 모선에 접속된 발전사업자와 전력구매자를 다음과 같이 선택하여 입찰금액과 계량전력을 가정한다.

표 2. 시장참여자에 예

	접속모선	입찰금액 [원/MW]	계량전력 [MW]
발전사업자G1	1585	32원	10
발전사업자G2	7280	30원	10
전력구매자P1	2535	42원	10
전력구매자P2	9320	40원	10

이에 대해 서로 다른 모선을 기준으로 계산된 한계손실계수를 적용하여 거래금액을 계산하면 다음 표와 같다.

표 3. 시장참여자의 거래금액

	CASE I	CASE II	CASE III	CASE IV	
한계발전기 입찰가격	35원/MW				
한계발전기 MLF	1.0090	1.1232	1.1148	1.1195	
시장가격 [원/MW]	34.6878	31.1610	31.3958	31.2640	
한계손실 계수 (MLF)	G1	1.0423	1.1605	1.1518	1.1565
	G2	0.9044	1.0060	0.9988	1.0030
	P1	1.0364	1.1538	1.1451	1.1498
	P2	0.9165	1.0199	1.0122	1.0163
입찰경쟁 반영가격 [원/MW]	G1	30.7013	27.5743	27.7826	27.6697
	G2	33.1712	29.8211	30.0360	29.9103
	P1	40.5249	36.4015	36.6780	36.5281
	P2	43.6443	39.2195	39.5179	39.3585
거래금액 [원]	G1	362	362	362	362
	G2	314	*313	314	314
	P1	360	360	360	*359
	P2	318	318	318	318

*항목의 차이는 계산상의 오차임.

표 3을 살펴보면 기준모선의 변경에 따라 한계발전기(그림 1.에서와 같이 기준모선의 변경은 입찰경쟁의 우선순위에 영향을 주지 않기 때문에 한계발전기는 항상 동일함)가 접속된 모선의 한계손실계수가 변경되어 시장가격이 변경되었으며, 특히 부하지역에 기준모선을 가정한 CASE I의 경우에 시장가격이 가장 높게 계산되었다.

또한, 시장참여자의 거래입찰은 한계손실계수가 적용된 후에 입찰경쟁에 반영됨에 따라, 공급입찰의 경우 G2의 제안가격이 G1보다 낮음(입찰우선순위가 높음)에도 불구하고 G1이 접속된 모선의 한계손실계수가 상대적으로 커, 결국 입찰경쟁에서는 G1이 G2보다 더 높은 우선순위(더 낮은 공급입찰가격)를 갖게 되며 이는 기준모선의

위치에 관계없이 일관되게 나타난다. 수요입찰의 경우에도 본 사례연구의 예에서는 한계손실의 적용에 따라 입찰의 우선순위가 역전되었다. 또한, 이러한 결과는 한계발전기의 결정에도 동일하게 적용될 것이다.

한편, 각 시장참여자의 거래금액은 기준모선의 변경에 관계없이 결국 동일하게 계산됨을 알 수 있다. 즉, 한계손실계수의 계산을 위한 기준모선의 위치는 시장참여자의 전력거래에 불공정한 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 따라서 기준모선은 전력거래소가 전력시장의 대표성 등을 고려하여 적절히 선택하면 된다. 한계손실계수를 적용 중인 호주 전력시장에서는 일반적으로 수요지역의 중심을 기준모선으로 하고 있다.[3]

또한, 본 사례연구에서는 발전사업자와 전력구매자의 전력거래량을 모두 동일하게 가정하였는데 이에 대해 계산된 거래금액을 살펴보면 한계손실계수가 큰 모선에 접속된 시장참여자의 거래금액이 크게 계산되어 발전사업자에게는 유리하고 전력구매자에게는 불리하게 나타나며, 이는 각 시장참여자에 대한 입지상의 가격선호를 제공하고 있는 셈이다.

5. 결 론

본 논문에서는 우리나라의 도매경쟁전력시장에 도입되는 전력망의 한계손실계수의 적용방안을 현재 진행 중인 도매경쟁 전력시장의 설계(안)에 따라 간략히 살펴보고, 이를 한전 실계통에 적용하여 한계손실계수의 특징을 분석하였다. 또한, 한계손실계수를 계산하기 위한 기준모선을 공급지역과 수요지역 등의 서로 다른 위치로 하였을 때 이에 따른 한계손실계수의 계산결과와 이에 따른 전력거래의 영향을 분석하였다. 향후 전력시장에서 한계손실계수는 각 접속점에서의 전력거래를 기준모선에서의 전력거래로 등가화 하는 승수로 사용되는 만큼 입찰경쟁에서의 우선순위와 거래금액의 계산에 직접적인 영향을 미치게 되며 이에 따른 시장참여자들의 합리적인 반응이 요구되는 만큼, 그 적용방안에 대한 정확한 이해가 요구된다고 사료된다. 본 논문에서의 사례연구를 통해 한계손실계수가 전력시장에서 전력의 공급과 수요에 대한 입지적 신호를 적절히 제공하고 전력거래의 효율성을 제고할 수 있으며, 기준모선의 변동으로 인한 한계손실계수의 변동은 전력거래 입찰경쟁이나 각 시장참여자의 거래금액 계산을 왜곡하지 않음을 확인 하였다. 다만, 기준모선의 선택에 따라 전력시장의 대표가격이라고 할 수 있는 시장가격 자체는 다소 높거나 낮을 수 있음은 인지되어야 한다. 향후 전력거래소가 산정하여 전기위원회가 승인하는 송전손실계수 뿐만 아니라 배전사업자가 산정하여 전기위원회가 승인하는 배전손실계수에 대해서도 계산원칙과 적용방안에 대한 이해가 필요할 것으로 생각 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] "전력계통의 해석 및 운용", 동일출판사, 송길영, 1995
- [2] "도매경쟁전력시장(TWBP) 개선을 위한 외부전문인력 활용 용역(시장설계분야)", 최종보고서, 전력거래소, 한국전기연구원, 2002
- [3] "Treatment of Loss Factors in the National Electricity Market", NEMMCO, 1999
- [4] National Electricity Code", NEMMCO, 2001
- [5] 문영환, 김효용, 남궁재용, 심우정, "부하수준별 한계손실계수 변동특성 분석", 대한전기학회 논문지, VOL. 51, No.6, 2002