

CBP시장에서 한계손실계수(MLF)의 적용에 따른 단기적 영향분석

이재걸\*, 윤용범, 안남성  
한전 전력연구원

Study on short period effect of Marginal Loss Factor(MLF) in Cost Based Pool

Lee Jae-gul\*, Yoon Yong-beum, Ahn Nam-sung  
Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

**Abstract** -Because Cost Based Pool(CBP) has any locational signals for electricity price, there are any locational incentives for construction of new power plant high efficient. in case of Korean electricity power market, this incentives are very important to reduce loss and congestion.

This Paper represent the effect of MLF(Marginal Loss Factor) as locational price signal in short period. we investigate mathematically loss reduced effect of MLF and prove to reduce transmission loss using 3bus test system.

1. 서 론

현재 우리나라의 변동비반영시장(CBP)은 지역적인 가격 차등이 전혀 고려되지 않은 가격체제로 구성되어 있으며, 이는 지역적으로 발전기유인에 대한 차별이 없는 시장구조임을 의미한다. 특히 우리나라의 경우 수도권과 비수도권간의 송전전력량이 지속적으로 증가하고 있어 765kV 송전선로의 건설 등 막대한 설비투자가 수반되고 있는 실정이기 때문에 적절한 지역적인 설비투자의 유인이 필요로 된다. 또한 장거리송전이 이루어짐으로 인하여 이에 따른 손실의 증가가 나타나고 있으며, 2005년도 실적으로 약 2.7%의 송전손실이 발생되었다. 이러한 손실에 따른 비용은 연간 약 2,000억원 정도의 비용으로 추산되고 있으며, 이러한 비용은 수도권에 효율이 높은 발전설비를 유인하므로 인하여 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 취지에서 현재 CBP시장에 대한 지역적인 가격신호 제공방안이 논의 중이며, 가장 유력하게 도입될 수 있는 방안으로써 “한계손실손실계수(Margianl Loss Factor)”가 검토 중에 있다. 본 논문에서는 MLF의 적용에 따른 기대 효과 중 단기적인 효과로써 계통손실의 감소 및 효율적인 운영에 대한 이론적인 고찰 및 모의계통을 이용한 사례연구를 통하여 이에 대한 증명을 하였다.

2. 변수설명

본 논문에서 사용한 변수들은 다음과 같은 의미를 가진다.

- $MLF_i$  : i 모선의 한계손실계수 (Marginal Loss Factor)
- $\Delta P_{G,ref}$  : 기준모선의 발전기 출력변화 [MW]
- $\Delta P_{L,i}$  : i 모선의 수요변화 [MW]
- $\Delta P_{loss}$  : 계통손실의 변화 [MW]
- $IC_i$  : 각 발전기의 충분비용 [원/Mwh]
- $IC'_i$  : 한계손실계수를 고려한 변동비곡선 [원/Mwh]
- $F_{cost}$  : 총 발전비용 [원]
- $F_i(P_{G,i})$  : i 발전기의 발전비용 함수 [원]
- $P_{L,j}$  : j 모선의 수요 [MW]
- $P_{loss}$  : 계통손실 [MW]

- $P_i^{max}, P_i^{min}$  : i 발전기의 최대 및 최소 출력 [MW]
- $n$  : 발전기 개수
- $m$  : 부하모선 개수
- $\lambda$  : 충분비용 [원/MWh]
- $\mu_{min}, \mu_{max}$  : 발전기출력 상하한에 대한 잠재가격
- $PF_i$  : 손실에 대한 페널티 팩터

3. 본 론

2.1 한계손실계수(MLF)의 개념

한계손실계수의 개념은 계통에서 기준모선을 정하고 각 모선별로 수요를 한 단위씩 증가시켰을 때 변화하는 계통손실의 정도를 계수화한 것으로 설명할 수 있으며, 이를 정식화하면 다음과 같다.

$$MLF_i = \frac{\Delta P_{G,ref}}{\Delta P_{L,i}} = \frac{\Delta P_{L,i} + \Delta P_{loss}}{\Delta P_{L,i}} = 1 + \frac{\Delta P_{loss}}{\Delta P_{L,i}}$$

2.2 CBP시장에서의 MLF의 적용

우리나라의 CBP시장은 지역적 가격신호를 제공하기에 적합하지 않은 구조를 가지고 있기 때문에 여러 가지 방법 중 가장 적용이 용이한 한계손실계수(MLF)를 적용하는 것을 검토하고 있다. MLF는 발전력을 배분하고 시장가격을 결정하는 단계(가격결정계획)와 발전량에 대한 정산금 산정하는 단계(정산)에서 반영이 되는데 가격결정계획 시의 적용은 계통손실을 저감시켜 계통을 효율적으로 운영하는 데 역할을 하며, 정산단계에서의 적용은 지역적인 가격신호를 발전사업자들에게 제공함으로써 수요 집중지역에 신규발전소의 건설을 유인하는 역할을 한다. 본 논문에서는 단기적인 측면에서 가격결정계획 시에 MLF를 적용하였을 때의 영향을 분석하는 것을 목적으로 하고 있으며, MLF의 적용을 위하여 각 발전기의 충분비용을 다음과 같이 수정하는 절차가 필요하다.

$$IC'_i = IC_i \div MLF_i$$

위의 산식의 의미를 설명하기 위해서는 다음과 같이 최적화문제의 구성이 필요하다. 우선 목적함수는 발전비용 최소화이며 다음과 같이 정식화 될 수 있다.

$$\text{Min } F_{cost} = \sum_{i=1}^n F_i(P_{G,i})$$

또한 수급조건은 다음과 같이 정식화 될 수 있으며, 발전기출력 상/하한에 대한 제약조건도 정식화할 수 있다.

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n F_i(P_i) = \sum_{j=1}^m P_{L,j} - P_{loss}$$

$$P_i^{max} \geq P_i \geq P_i^{min}$$

위의 최적화문제를 라그랑지안 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$L = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) + \lambda \left( \sum_{j=1}^m P - P_{L,j} - P_{Loss} \right) + \mu_{max}(P_i^{max} - P_i) + \mu_{min}(P_i - P_i^{min})$$

이 식에서 증분비용(Ramda)을 산정하기 위하여 발전기 출력으로 식을 미분하고 최적조건과 쿤터저정리를 이용하여 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F(P_i)}{\partial P_i} + \lambda \left( 1 - \frac{\partial P_{Loss}}{\partial P_i} \right) = 0$$

이 식에서 증분비용( $\lambda$ )에 대하여 식을 정리하면 다음과 같다.

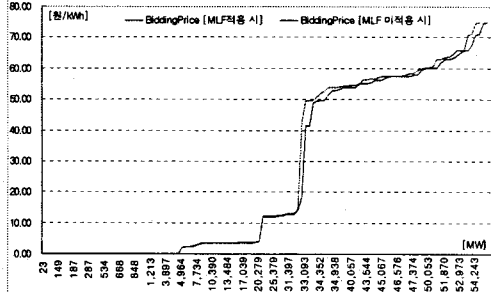
$$\lambda = \frac{\frac{\partial F(P_i)}{\partial P_i}}{1 - \frac{\partial P_{Loss}}{\partial P_i}} = \frac{\partial F(P_i)}{\partial P_i} \times PF_i$$

이 식은 손실을 고려하지 않은 증분비용에 손실에 대한 Penalty Factor를 곱한 형태이며 Penalty Factor는 MLF의 역수의 관계에 있기 때문에 위의 식1에서 MLF를 증분비용에 나누어서 적용하는 것에 대한 타당성을 증명할 수 있다.

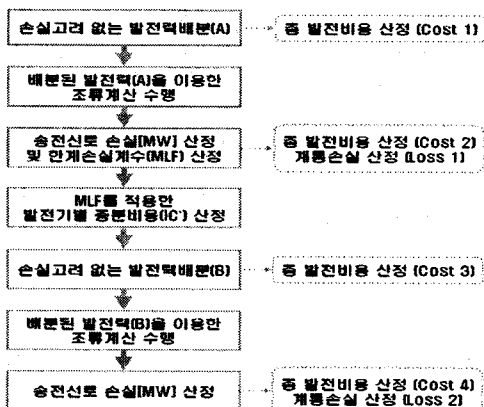
$$IC'_i = IC_i \times PF_i = IC_i \div MLF_i$$

## 2.2 단기적 영향분석 방법

전술한바와 같이 가격결정계획 시 증분비용에 MLF를 고려하는 것은 계통운영 시 손실을 고려한 비용최소화의 효과를 가져 올 수 있다. 다시 말해서 손실의 증가에 기여하는 발전기는 출력을 감소시키는 방향으로, 손실의 감소에 기여하는 발전기는 출력을 증가시키는 신호를 제공하는 것이다.



[그림 1] MLF적용으로 인한 공급곡선의 변화



[그림 2] MLF적용에 대한 단기적 영향분석 방법

위의 [그림 1]은 각 발전기의 증분비용을 이용한 공급곡선과 각모선의 MLF를 고려한 공급곡선의 차이를 나타낸 그림이다. 이러한 공급곡선의 변화는 발전력배분에 있어서 가격우선순위(Merit order)의 변화와 증분비용의 증가로 인한 것이며, 이러한 변화는 CBP시장에서 계통한계가격(System Marginal Price) 및 제약운전비용의 변화로 나타나게 된다. 본 논문에서는 위의 [그림 2]의 흐름도와 같은 방법을 통하여 MLF의 적용으로 인한 계통운영비용(손실비용 포함)의 변화 및 시장가격 변화를 모의하고 MLF의 적용이 단기적으로 계통운영에 미치는 영향을 분석하였다.

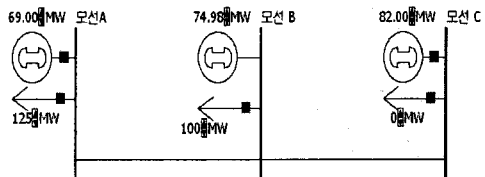
위의 흐름도에서 최초 발전력배분(ELD)은 손실을 고려하지 않은 상태에서 발전비용최소화를 목적함수로 하고 발전기의 상하한 제약만을 고려한 CBP시장에서의 가격결정계획과 동일한 절차이며 이때 산정되는 총 발전비용은 Cost1로 한다. 배분된 발전력(A)을 이용하여 조류계산을 시행하면 손실(Loss1)이 계산되며 손실로 인한 발전력증가 및 발전비용(Cost2)증가가 발생하는데 이를 MLF를 고려하지 않은 경우에 대한 손실 및 발전비용이다. 산정된 MLF를 발전기별 증분비용에 적용하여 다시 ELD를 시행하고 이렇게 재 배분된 발전력을 이용하여 조류계산을 수행하여 얻어지는 손실(Loss2) 및 총 발전비용(Cost4)은 MLF를 고려한 경우의 값이기 때문에 MLF의 고려에 따른 영향을 분석하기 위해서 다음과 같은 비교식을 이용하였다.

$$\text{손실변화} = \text{Loss 2} - \text{Loss 1}$$

$$\text{발전비용변화} = (\text{Cost4} - \text{Cost1}) - (\text{Cost2} - \text{Cost1})$$

## 2.3 사례연구

MLF의 적용에 따른 단기적인 영향분석을 위하여 다음과 같은 3모선 모의계통을 구성하였다. 총 수요는 225[MW]이며 발전기의 상하한 제약은 없으며, 선로용량제약도 고려하지 않았으며, 송전선로의 저항성분만을 고려하였다.



[그림 3] 사례연구에 사용한 모의계통

위의 계통에 대한 MLF산정결과는 다음과 같다.

[표 1] 발전기모선에 대한 MLF

	Gen 1	Gen 2	Gen 3
MLF	1.01	1	0.98

이러한 MLF를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대하여 각각의 손실 및 총 발전비용을 산정한 결과 다음과 같은 결과가 계산되었다.

[표 2] Case별 발전량 및 발전비용

	최초ELD 결과	조류계산 결과	MLF 적용 ELD결과	조류계산 결과
총발전량	225.00	226.02	225.00	225.98
총 발전비용	484.00	485.22	484.03	485.20

위의 결과에서 알 수 있듯이 MLF를 고려한 결과 계통손실은 0.04[MW] 감소한 것으로 나타났으며, 총 발전비용의 경우에는 0.02[천원]이 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과는 한계손실계수(MLF)의 도입이 단기적으로 계통의 효율적인 운영에 긍정적인 영향을 주는 것으로 볼 수 있는 결과이다.

#### 4. 결 론

우리나라의 전력시장 구조개편이 중단되면서 현재의 CBP시장구조가 추후 수년간 지속될 것으로 예상되고 있으며, 이에 따라서 CBP시장의 제도개선의 노력이 이루어지고 있다. 이의 일환으로 지역적 가격신호제공방안인 한계손실계수(MLF)의 적용을 검토하고 있으며, 본 논문은 MLF의 적용에 따른 단기적인 영향을 분석하였다.

MLF의 적용에 따른 단기적인 영향은 손실을 고려한 발전력을 배분으로 인한 손실감소와 총 발전비용의 감소로 나타나는데, 본 연구결과에서 살펴볼 수 있듯이 다소의 긍정적인 효과가 나타났다.

그러나 실제적인 계통운영에서 적절한 MLF의 산정 및 적용이 이루어져야 한다는 것이 전제가 되는 결과이며, 지역적 가격신호의 취지에 부합할 수 있는 장기적인 효과도 함께 분석이 되어야 할 것이다. 또한 우리나라의 계통상황을 적확하게 반영할 수 있는 분석이 요구되는데 예를 들어서 수도권지역에서 인천지역의 계통취약화 및 신규발전소 건설입지 확보 등의 추가적인 사항이 고려가 되어야 지역적 가격신호가 제대로 동작할 수 있는 것이다. 또한 시장의 개선에 있어서 시장참여자들에 대한 영향분석 및 공감대 형성이 선행되어 개정된 규칙의 도입 시 시장의 혼란을 최소화시키는 노력이 매우 중요할 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 박종배, "현물시장에서의 적용을 위한 한계송전손실계수 산정 알고리즘 개발에 관한 연구", 정책연구개발사업 최종보고서, 2003.6
- [2] 한국개발연구원, "변동비 반영시장 평가진단 및 개선연구 최종보고서", 2005.11
- [3] Steven Stoft. "Power System Economics", IEEE Press, 2002