

전력망 제약에 의한 발전기의 시장지배력 행사가능성 평가에 관한 연구

국경수\*, 오태규\*, 김호용\*, 문영환\*, 이정호\*, Baldwin P Lam\*\*, 한국전기연구원\*, PTI\*\*

A study on the market power evaluation of generator due to network constraints

Kook Kyung Soo\*, Oh Tae Kyoo\*, Kim Ho Yong\*, Moon Young-Hwan\*, Lee J.H.\*, Baldwin P Lam\*\*, KERI\*, PTI\*\*

**Abstract** - This paper describes the market power evaluation of generator due to network constraints. When the specified generator must be dispatched to meet the network requirements, that generator will be able to have market power. For identifying this, we formulate optimization problem to determine whether the power system requirements can be met without the specified generator, and evaluate its possible market power exertion from the solution.

1. 서 론

전력시장에서 전력은 전기에너지가 가지고 있는 고유의 물리적 특성으로 인해 경제적 원리만으로 거래되지 못한다. 즉, 전력공급자의 한계 입찰가격으로 시장가격을 결정한다 하더라도(즉, 입찰가격으로 공급우선순위를 결정한다 하더라도) 전력계통을 통해 실제로 전력이 거래되기 위해서는 전력계통의 제약조건을 만족시키기 위한 발전 및 부하의 제약증가 또는 제약감소가 필요(즉, 입찰가격에 의한 공급우선순위는 조정된다.)하며, 이때 전력시장은 해당 전력거래자의 입찰가격을 고려한 적절한 보상을 지불하게 된다.[5]

단일시장가격 체제인 우리나라 TWBP 전력시장의 경우, 시장가격을 결정하기 위한 급전계획(비계약 급전계획)에서는 전력망의 제약조건을 고려하지 않고(전압 및 주파수제약은 고려함) 발전기의 입찰가격만을 기준으로 하는 입찰우선순위에 따라 전력거래에 참여할 발전기와 그 발전량이 결정되고 이때 가장 마지막으로 입찰에 참여하는 발전기의 입찰가격이 시장가격을 결정하게 되는 반면 실제 급전지시량을 결정하기 위한 급전계획에서는 전력망의 제약조건을 고려한 입찰우선순위에 따라 발전기의 급전이 결정되며, 이때 비계약 급전계획이 조정되어야 하는 경우를 전력망에 혼잡이 발생한 것으로 볼 수 있다. 이러한 경우, 전력망의 제약조건을 만족시키기 위해 비계약 급전계획에서 전력거래에 참여할 자격을 얻은 발전기의 급전량이 증가되거나, 비계약 급전계획에서 전력거래에 참여할 자격을 얻지 못했던 발전기가 급전될 수(이상 제약증가)도 있으며, 비계약 급전계획에서 전력거래에 참여할 자격을 얻은 발전기의 급전량이 감소되거나 급전되지 않을 수(이상 제약감소)도 있다. 그리고 이에 대한 제약보상금액은 각각의 입찰가격을 기준으로(그 인정범위는 규제됨) 제약 증가/감소에 따른 발전기의 이익 변동을 보상해 주는 수준으로 산정되며[3] 총 지불 금액은 구매전력량에 비례하여 전력구매자들로부터 징수된다.

이와 같은 전력시장에서 단일 전력계통의 구조적 특성이나 특정 운영조건에서 계통제약을 만족시키기 위해 특정 발전기의 출력이 반드시 조정되어야 하는 경우가 있다면, 해당 전력공급자는 이를 전략적으로 입찰에 이용하여 전력시장에서 과도한 이윤을 추구-즉, 시장지배력

을 행사-하여 전력시장을 왜곡시킬 수 있다. 따라서 제약보상금액을 산정할 때에는 이에 대한 판단이 필요할 수 있다. 또한, 이러한 시장지배력의 행사는 제약보상금액 상한제의 일률적 적용으로써는 효과적으로 완화하기 어렵고, 과도한 제약보상금액의 역에는 전력공급투자의 유인 측면에서 매우 부적절하기 때문에 전력시장의 합리적인 가격신호와, 시장지배력 행사에 의한 시장가격의 왜곡은 반드시 구분되어 다루어져야 한다. 해외의 각 전력시장에서도 이에 관한 연구들이 다양하게 진행되어 오고 있다.[4,5,8,9]

이에 대해 본 논문에서는 전력망제약에 의한 발전기의 시장지배력 행사가능성을 평가하는 방법을 검토하고, 사례연구를 통해 그 유용성을 확인한다. 제안된 방법에서는 평가대상 발전기로부터의 전력공급이 없이도 혼잡선로의 전력조류제약을 전력계통이 만족시킬 수 있는지의 여부를 판단할 수 있는 최적화 문제를 정식화한 후 이를 최적조류계산을 통해 계산한 후, 그 계산결과로부터 해당 발전기의 시장지배력 행사가능성을 평가한다.

2. 전력시장에서의 시장지배력

2.1 발전기의 시장지배력 행사

시장지배력은 시장에서 거래되는 상품의 산출을 억제하거나, 신규 참여자의 시장진입을 억제함으로써 시장가격을 경쟁적 수준 이상으로 상승시키는 시장참여자의 능력으로 정의 할 수 있으며, 이는 곧 특정 거래자가 시장가격의 수취자가 아닌 시장가격의 형성자가 되는 능력을 의미한다. 수직 통합구조의 전력산업에서는 대규모 전력회사가 전력의 공급을 독점하여 다른 전력공급자와 전기 소비자의 접근을 허용하지 않았기 때문에 소위 수직적 시장지배력이 있다고 할 수 있으나, 이는 전력산업의 구조개편에 따라 해소되며, 경쟁적 전력시장에서는 발전사업자들 사이의 전력공급 경쟁 측면에서 소위 수평적인 시장지배력이 형성될 수 있다.[9] 우리나라 TWBP 전력시장에서 이러한 발전기의 시장지배력이 형성되는 경우는 제약보상금액의 산정단계에서 확인될 수 있으며 이는 곧 자신의 제약 증가/감소를 예상하여 제약보상금액을 최대화 하려는 발전사업자의 전략적 입찰행위에 따라 나타나게 된다. 다음 표1과 2는 이에 대한 간단한 예를 나타낸다. 단, 본 예에서는 제약보상금액의 산정시 입찰가격의 인정범위에 대한 상한선이 적용되지 않는 범위를 가정하였으며, 손실계수의 적용은 무시한다.

표 1에서는 발전기C가 한계발전기가 되어 시장가격이 15원으로 결정된 후, 전력망의 제약에 따라 발전기A와 B가 제약감소 되고 발전기 C와 D가 제약증가 되어, 각각에 대한 제약보상금액(총 450원)이 지불되었으며 이에 따라 에너지 단가는 16.8원/MW가 된다. 이때 발전기A와 발전기 D를 소유한 전력공급자들이 이러한 발전기의 제약증가/감소를 사전에 예측하여 전략적으로 입찰에 이용했다고 가정하면(시장지배력을 행사함) 다음 표 2와 같은 정산결과가 가능하다.

표 1 발전기별 거래금액의 정산결과1

	발전기A	발전기B	발전기C	발전기D
입찰단가	5원	10원	15원	20원
비계약급전량	100MW	100MW	50MW	-
계약급전량	70MW	90MW	70MW	20MW
에너지금액	1,050원	1,350원	1,050원	300원
계약보상금액	300원	50원	-	100원
총 지급금액	1,350원	1,400원	1,050원	400원

※시장가격 : 15원/MW

※최종 에너지단가 : 16.8원/MW

표 2 발전기별 거래금액의 정산결과2

	발전기A	발전기B	발전기C	발전기D
입찰단가	3원	10원	15원	40원
비계약급전량	100MW	100MW	50MW	-
계약급전량	70MW	90MW	70MW	20MW
에너지금액	1,050원	1,350원	1,050원	300원
계약보상금액	360원	50원	-	500원
총 지급금액	1,410원	1,400원	1,050원	800원

※시장가격 : 15원/MW,

※최종 에너지단가 : 18.6원/MW

표2에서 입찰가격 기준의 공급우선순위에 따른 각 발전기들의 비계약급전량은 동일하고 따라서 시장가격도 변동되지 않았으나, 계약증가/감소된 발전기들의 입찰가격이 변경됨으로써 전력시장의 계약보상금액이 증가(총 910원)되고 이에 따라 소비자들이 부담하게 되는 에너지 단가도 18.6원/MW로 증가되었다. 또한 이를 통해 발전기A와 B의 수입은 증대되었다.

## 2.2 시장지배력 평가의 필요성

우리나라 TWBP 전력시장과 같은 단일시장가격 체제에서 한계입찰가격으로 시장가격을 결정하는 것은 결국 경쟁을 통해 전력거래자들을 자신들의 비용에 최대한 가까운 값으로 입찰하도록 유도하는 것을 목표로 한다고 할 수 있다. 그러나 특정 전력거래자가 시장지배력을 행사하게 되면 이러한 원칙은 깨지게 되고 특정 전력거래자는 과도한 이윤을 취하며 이에 따라 시장은 왜곡될 것이다. 더욱이 우리나라의 전력계통은 현재로써 전력망의 송전용량이 비교적 충분하다고 하더라도, 전력의 수요와 공급이 편중되어 집중되어 있고, 연간 및 일간별 등의 부하패턴이 잘 알려져 있으며, 다른 전력계통과의 연계가 전혀 없는 고립계통이기 때문에 향후 경쟁적 전력시장에서 이윤의 극대화를 추구하는 전력거래자들의 전략적 분석에 따라 전력망 제약조건에 따른 시장지배력의 행사가능성이 충분하다고 판단된다.

반면 현재 TWBP 전력시장의 설계에서는 시장가격을 제한하기 위하여 시장가격 상한제나, 계약보상금액 산정시 입찰가격의 인정범위 제한 등의 방법이 적용되어 있으나, 이는 그 제한범위가 적절히 설정된다 하더라도 그 일괄적인 적용에 있어서 한계가 있다고 볼 수 있는데, 시장가격에 대한 과도한 일괄적 제한은 시장의 가격신호를 왜곡시킬 수 있기 때문이다.

따라서 전력거래자의 시장지배력은 이를 위한 별도의 평가가 요구되며, 이에 따라 시장의 가격신호와 구분되어 다루어져야 한다.

## 2.3 전력망을 고려한 시장지배력의 평가

전력시장에서 시장지배력을 나타내기 위한 많은 지수들이 기존 경제학의 개념으로부터 도입, 응용되어 적용되

고 있는데 그 예로 집중지수, Lerner 지수, Cournot Model 등이 있다.[8,9] 반면 이러한 지수들은 전력거래의 전체인 전력계통의 특성을 반영할 수 없기 때문에 전력시장에 적용되는데 한계가 있을 수밖에 없다. 즉, 발전설비의 설비용량이 충분하다고 하더라도 전력계통의 소위 송전용량이 이를 수용하지 못한다면, 발전기의 설비용량은 제한될 수밖에 없는 등, 전력망이 전력거래 자체에 직접적으로 영향을 주기 때문에 전력시장의 시장지배력은 반드시 전력망의 제약조건을 고려하여 산정되어야 할 것이며 이를 위해서는 계통특성의 분석이 요구된다, 현재 미국 New England 전력시장의 경우에는 전력망 제약에 의한 혼잡 발생에 따라 계약보상금액을 결정하기 전에, 시장지배력의 검증단계를 두고 있으며 이를 통과한 경우에 대해서는 계약보상 범위에 제한을 두지 않음으로써 시장의 가격신호는 왜곡하지 않으면서 시장지배력은 효과적으로 억제하기 위한 제도를 적용하고 있는데 이때 시장지배력의 검증 단계에서는 반드시 전력망의 제약조건을 고려하게 된다.[4][6]

## 3. 전력망에 의한 시장지배력의 평가

### 3.1 시장지배력 평가의 정식화

전력망에 의한 발전기의 시장지배력은 전력망의 제약조건을 만족하기 위해 특정 발전기의 출력이 필수적으로 요구될 때 형성될 수 있다. 따라서 전력망에 따른 발전기의 시장지배력을 평가하는 문제는 다음 식(1)과 같이 정식화 될 수 있다. 이때 제약조건으로는 계통손실을 포함한 발전과 부하 사이의 전력수급조건과, 각 모선의 전압 유지조건, 전력망의 전력조류 제약조건, 발전기의 발전용량을 적용한다. 시장지배력의 평가는 복수개의 발전기를 가지는 전력공급자별로 평가할 수도 있으나, 이는 결국 평가대상 발전기를 복수개로 하는 것이기 때문에 문제의 정식화는 동일하다고 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{MIN } P_{Gi} \\
 & \text{S. T. } \sum_i^n P_{Gi} = \sum_i^n P_{Li} \\
 & I = YV \\
 & P_{G, \text{Min}} \leq P_G \leq P_{G, \text{Max}^i} \quad \text{for all } G \\
 & V_{n, \text{Min}} \leq V \leq V_{n, \text{Max}^i} \quad \text{for all } n \\
 & F_k \text{ min} \leq F_k \leq F_{k, \text{max}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

즉, 각 k선로의 제약조건에 대해 전력계통의 모선 전압 조건과 전력수급조건을 만족하면서 평가대상 발전기인 i 모선의 발전출력을 최소화 하는 문제로 정식화 하고, 이를 통해 특정 선로의 제약조건에 의한 각 발전기의 시장지배력 형성가능성을 평가한다. (1)의 문제에서 얻어진 해를 P\*라고 하면, 평가대상 발전기가 해당 선로제약에 영향을 받지 않는 경우, 즉 해당 선로제약을 만족시키는데 평가대상 발전기가 필요하지 않을 경우에 P\*=0이 될 것이며, 이때 해당 전력망 제약에 따른 평가대상 발전기의 시장지배력은 형성되지 않는다고 할 수 있다. 반면, P\*값이 0을 초과하는 경우 이 값은 계통제약을 만족하기 위해 요구되는 평가대상 발전기의 최소출력 요구량이며 따라서 해당 선로에 혼잡이 발생할 경우 평가대상 발전기는 시장지배력을 가질 수 있으며 P\*값이 클수록 그 가능성은 더 크다고 할 수 있다. 본 논문에서는 최적조류제산(OPF)을 이용하여 정식화된 문제를 구현하였다.

## 4. 사례 연구

본 논문에서는 다음 그림1과 같은 시험계통에 대해 제안된 시장지배력 평가방법을 적용하여 그 유용성을 검

토하였다. 그림 1은 시험계통의 건전상태(Base Case)에서 각 발전기의 발전비용에 따른 비제약 급전결과로 나타나는 계통상태를 나타낸다. 본 사례연구에서 평가대상 발전기는 201, 206, 3001, 3008 모선의 발전기로 하였고, 전력망 제약조건으로는 지역간의 연계선로인 154-203, 152-202, 152-3004, 154-3008 선로의 제약을 선정하였다. 또한 모선의 전압은 모든 모선에서 0.95-1.05[p.u]를 유지하도록 하였다.

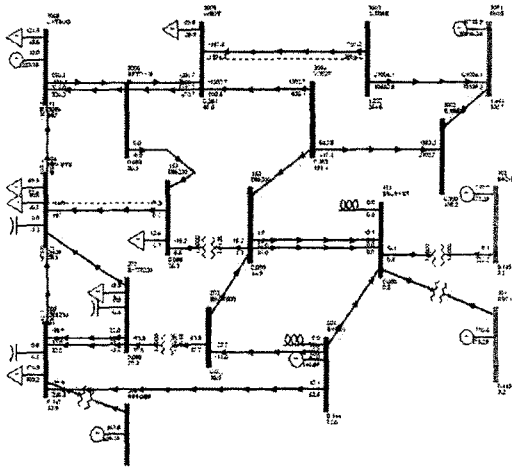


그림 1 시험계통

표 3은 시험계통에 적용된 발전기의 기타정보를 요약한다.

표 3 발전기의 기타 정보

	201	206	3001	3008
발전용량[MW]	1000	1000	500	500
발전비용 계수비	1	2	1	2
비제약급전[MW]	883.4	18.0	500	6.7

다음 표4는 시험계통의 평가결과를 나타낸다.

표 4 선로제약에 대한 발전모선의 최소 발전요구량

모선	201	206	3001	3008
154-203	0	40.5	0	0
202-152	0	67.9	0	0
152-3004	0	9.1	0	0
154-3008	46.8	458.8	0	0

※단위는 MW

표 4에서 206모선의 발전기는 모든 주요 연계선로의 제약에 대해 최소발전요구량이 0이상으로 산정되어 제약급전계획에서 제약증가발전기가 될 가능성이 높다고 할 수 있다. 따라서 이에 따른 시장지배력의 행사가능성이 높다고 할 수 있다. 반면, 3001 및 3008 모선의 발전기는 어떤 전력망 제약조건에 대해서도 최소발전요구량이 0으로 산정되었으므로 제약조건에 의해 요구되는 최소발전량을 없다. 따라서 이러한 발전기에는 시장지배력이 형성되기 어렵다. 201모선의 발전기의 경우에는 154-3008선로의 혼잡에 의해서는 시장지배력의 형성이

가능하다고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 전력망에 의한 발전기의 시장지배력 행사가능성을 평가하는 방법을 검토하였다. 이를 위해 전력망의 제약조건에 대한 평가대상 발전기의 최소발전요구량을 산정하는 최적화 문제를 정식화하고 그 계산결과로부터 전력망 제약에 의한 해당 발전기의 시장지배력 행사가능성을 평가하였다. 우리나라 TWBP 시장을 포함하여, 이윤의 극대화를 추구하는 다수의 거래자들이 존재하게 되는 전력시장에서 시장지배력은 전력시장의 효율성을 유지하기 위해 중요하게 다루어져야 할 측면 중의 하나이며, 더욱이 우리나라 전력계통의 특성을 감안할 때 시장지배력의 완화 방안이 반드시 별도로 마련되어야 할 것으로 생각한다. 향후 본 논문의 검토내용을 바탕으로 하여 TWBP 전력시장에 시장지배력의 평가를 반영하기 위한 효과적인 방안 검토와, 우리나라 실제계에 대한 시장지배력 형성가능성의 평가 등이 필요할 것으로 사료된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] "전력계통의 해석 및 운용", 동일출판사, 송길영, 1995.
- [2] "KERI 10-Week Training Program", PTI, 2003.
- [3] 국경수, 문영환, 오태규, "이득함수를 이용한 전력시장에서의 제약보상금액 계산기법", 에너지공학회 논문지, Vol.11, No.4, 2002. 11
- [4] Daqiang Gan, Donald V. Bourcier, "Locational Market Power Screening and Congestion Management : Experience and Suggestions", IEEE Transactions on PS., Vol.17, No.1, February 2002.
- [5] "도매경쟁전력시장(TWBP) 개선을 위한 외부전문인력 활용용역(시장설계분야)", 최종보고서, 한국전력거래소, 한국전기연구원, 2002
- [6] "NEPOOL Market Rules and Procedures", New England ISO.
- [7] "Power System Economics", Steven Stoft, 2002
- [8] Tom Overbye, George Gross etc., "Market Power Evaluation in Power Systems with Congestion".
- [9] Harry Singh, "Market Power Mitigation".
- [10] "PSS/E User Manual", PTI