

**송전제약이 있는 3모선 전력시장에서 선도계약이 시장 지배력에 미치는 영향 해석**

김도한      박종근      남영우      김문겸     곽정원  
 서울대학교    서울대학교    LS산전    서울대학교    서울대학교

**Analysis of long-term contracts effects on market power in the 3-bus electricity market with transmission constraints**

Kim Do Han,      Park Jong Keun,      Nam Young Woo,      Kim Moon Gyeom,      Kwak Jung Won  
 Seoul National Univ.    Seoul National Univ.    LS industrial sys. co., Ltd.,    Seoul National Univ.    Seoul National Univ.

**Abstract** - 전력 산업이 자유화되고 경쟁을 통해 효율성을 증가시키려는 시도가 이루어지고 있다. 전력이 시장을 통해 거래되는 형태가 완전경쟁에 가까울수록 사회후생이 증가한다는 것이 알려져 있다. 하지만 발전 회사가 시장지배력을 행사하여 가격을 경쟁가격에서 벗어나게 함으로서 자신의 이익을 취하려 할 때 시장의 효율성은 감소하게 된다. 시장 지배력을 감소시키는 한 수단으로서 발전회사에 선도계약을 부과하는 방법이 있다. 발전 회사에 선도계약을 부과하는 방법을 사용할 때 어떤 회사를 선도계약 부과 대상으로 삼을 것인지와 계통의 송전제약 등에 대한 고려가 필요하다. 이에 대한 연구가 2모선 계통에 대해 게임이론의 혼합균형 개념을 통해 부분적으로 이루어져 있다. 본 논문에서는 3모선 계통에서 선도계약의 영향을 분석하고자 한다. 본 논문의 해석 결과에 의하면 3모선 계통에서도 선도계약은 상황에 따라 시장지배력의 감소 혹은 증가를 모두 불러올 수 있으며 기대사회후생에 긍정적 영향 뿐 아니라 부정적 영향 역시 줄 수 있다.

**1. 서 론**

전력 시장의 경쟁 도입을 통해 전력 산업의 효율성을 증가시키려는 시도가 이루어지고 있다. 경쟁의 도입은 발전 및 전력 거래 부문에 우선적으로 도입되어 일부 효과를 확인하고 있으나 아직 송전의 자유화는 활발하지 못한 실정이다. 이는 송전 부문의 자유화가 시장 전반의 효율성 증가에 부정적인 영향을 줄 수 있는 위험성이 존재한다는 시각 때문이기도 하다.

발전 부문의 경쟁을 통한 효율성 증가를 가로막는 한 원인으로 과점유를 통한 시장지배력 행사를 들 수 있다. 이는 전력 시장이 여타 제화와는 달리 소수 기업의 과점 형태로 이루어 질 때가 많다는 점에 기인한다. 이런 시장 지배력을 억제하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 시장지배력에 영향을 주는 다양한 요소들 중에서 본문에서는 송전 제약과 선도계약을 분석 대상으로 삼고자 한다.

본 주제에 대해 앞서 이루어진 연구[1]에서 기존의 통념에 반하는 결과가 제한적인 상황에 대해 제시되어 있다. 기존의 연구에서는 선도계약을 부과하는 것은 언제나 시장지배력을 약화시키고 시장을 자유 경쟁에 가깝게 유도한다고 알려져 있었다. 하지만 최근에 이루어진 연구에서 2모선 2발전 사업자 계통의 특정 상황에서는 선도계약이 오히려 사회 전반의 이익을 감소시킬 수 있다는 연구 결과가 나와 있다. 이는 내쉬 혼합균형을 이용한 분석의 결과로 나온 것으로, 선도계약이 혼잡 발생 확률을 증가시킬 수 있다는 점에 착안한 것이다.

본문에서는 이 연구 결과를 확장하여 3모선 계통에서도 동일한 현상이 존재할 수 있는지의 여부에 초점을 맞추려 한다. 이는 앞서 소개한 연구에서 밝혀진 현상이 전력 시장에 실질적으로 영향을 미칠 수 있는지를 분석해 나가는 한 과정이라 할 수 있을 것이다. 그리고 사례 연구를 통해 연구 결과를 확인해 보려 한다.

**2. 본 론**

**2.1 전력 시장의 시장지배력**

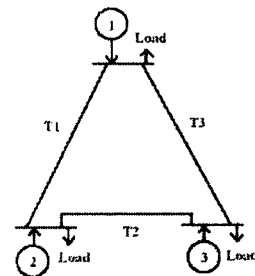
발전회사와 소비자로 구성된 전력시장에서는 각 구성원의 입찰을 통해 전력의 거래가 이루어지게 되는 경우가 있다. 경쟁적 시장에서 전제하는 것은 각 구성원이 모두 자신의 이윤 극대화를 목표로 행동한다는 것이다. 완전 경쟁 시장에서는 각 구성원의 이윤 추구 행위가 사회 전반의 효율성 증대로 귀결된다는 것이 알려져 있다. 하지만 전력 시장은 발전 사업자로 대표되는 생산자의 수가 비교적 적고 소수의 생산자들이 전체 생산량의 대부분을 차지한다는 점, 전력의 거래 경로가 되는 송전망에 제약이 존재한다는 점 등의 특수성 때문에 자유 경쟁 시장과는 거리가 있다. 과점 시장에 가까운 이런 상황에서는 이윤 극대화를 위해 시장지배력을 행사할 가능성이 존재[2]하게 되고 이로 인해 시장가격은 경쟁 시장 가격에서 이탈하여 사회 전반의 효율성이 감소할 수 있다. 이러한 시장 지배력의 억제에 위해 전력 시장에 적용되는 다양한 수단이 있는데, 그 예로서 시장 점유율 제한과 가격 상한, 장기 선도계약 부과 등을 들 수 있다.

**2.2 송전 제약과 전략 균형**

2.2절에서는 송전 제약이 존재하는 3지역 전력시장에서의 내쉬균형을 분석한다. 대상 모델을 설정하고, 전략 공간의 구성과 변화에 초점을 맞추어 앞서 이루어진 연구와의 유사성과 적용 가능성을 살펴본다.

**2.2.1 대상 모델링**

본 논문에서는 <그림1> 과 같이 세 지역이 각각 용량 T1, T2, T3(MW)인 송전 선로에 의해 연결된 3지역 시장 모델을 대상으로 한다. 각 송전선은 DC송전을 사용하여 원하는 만큼의 조류를 조절하여 보낼 수 있다고 가정한다. 또 각 지역마다 하나의 발전회사가 존재하여 소비자에게 전력을 공급하고 있으며, 전력 시장과 계통운영은 독립된 계통 운영자(ISO)에 의해 이루어진다고 가정한다. 발전 회사와 소비자는 이윤 극대화를 목적으로 입찰합수를 ISO에게 제출하며, ISO는 제출된 입찰을 바탕으로 사회후생을 극대화하는 시장가격을 산출한다. 또한 지역별 요금제를 도입하여 송전선의 혼잡 여부에 따라 각 지역 별 시장 가격의 차이가 존재할 수 있다고 가정한다. 이에 따라 ISO는 혼잡수입을 얻게 된다.



**<그림 1> 대상 계통**

각 발전회사는 2차의 비용함수를 가진다고 가정한다.

$$C_i(s_i) = 0.5a_i s_i^2 + b_i s_i, \quad i = 1, 2, 3 \tag{1}$$

여기서  $i$  는 지역을 나타낸다. 이 식을 발전량  $s$ 에 대해 미분하여 한계비용 함수를 얻는다.

$$MC_i(s_i) = a_i s_i + b_i, \quad i = 1, 2, 3 \tag{2}$$

각 발전회사는 선형의 입찰합수를 ISO에게 제출하며 이때 입찰합수의 절편을 실제 한계비용함수와 다르게 할 수 있는 전략을 사용한다고 가정한다.

$$p_i(s_i) = a_i s_i + k_i, \quad i = 1, 2, 3 \tag{3}$$

이 식에서  $k_i$ 는 한계비용을 실제보다 얼마나 높게 입찰하는가를 나타내는 전략변수가 된다.

수요함수는 다음과 같은 선형함수로 가정한다.

$$d_i(p) = -\alpha_i p + \beta_i, \quad i = 1, 2 \tag{4}$$

**2.2.2 전략 공간**

발전회사가 입찰합수를 제출하면, ISO는 전 지역에 대해 송전제약을 고려하지 않은 비제약시장가격을 산정한다. 그리고 산정된 가격 하에서 거래량이 송전제약을 초과하는 선로가 존재하지 않거나 하나만 존재하면, 비제약 시장가격이 최종가격으로 결정된다. 그렇지 않을 경우 ISO는 예상 조류량이 송전 용량과 같아지도록 특정 지역에 다른 시장가격, 다시 말해 제약시장이가격을 산정한다. 이때 지역 간의 가격 차이에 따른 수입은 앞서 말했듯이 ISO가 송전 수입으로 가져가게 된다. 비제약시장이가격은 총 공급함수와 총 수요함수의 교점에서 결정된다.

$$\sum_{i=1,2,3} s_i(p_u) = \sum_{i=1,2,3} d_i(p_u) \tag{5}$$

이 식에 입찰, 수요함수에 대한 식을 대입하여 정리하면 다음과 같은 식이 유도된다.

$$p_u = \frac{\frac{k_1}{a_1} + \frac{k_2}{a_2} + \frac{k_3}{a_3} + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} \tag{6}$$

비제약 시장가격 하에서는 지역별 수요와 공급의 차이가 존재하게 된다. ISO는 이런 수급균형의 차이를 해결하면서 송전선의 사용을 최소화하는 결과를 만들어 낸다.

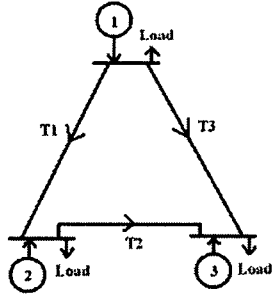
수급균형의 차이는 각 발전회사의 전략 변수인  $k_i$ 가 포함된 함수로 표현되

는데, 이것은 각 발전회사가 전략 변수를 조정하여 송전 혼잡을 유발할 가능성이 있음을 의미한다.

시장가격은 각 송전선의 혼잡 발생에 따라 달라질 수 있기 때문에 발전회사는 혼잡에 따라 다른 이윤함수를 가지게 된다. 이에 대해 살펴보기 위해 전략공간들을 정의하고 각 공간이 2모선 계통의 전략공간과 어떤 유사성을 지니는 지 살펴보도록 한다.

정의) 전략공간은  $SP_{xyz}$  의 형태로 표현하기로 하며,  $x, y, z$  는 각각 송전선  $T1, T2, T3$  의 혼잡 여부를 표시하는 기호이다.  $x, y, z$  는 0 또는 1의 값을 가질 수 있으며, 0은 해당 송전선에 혼잡이 발생하지 않은 것을, 1은 혼잡이 발생한 것을 의미한다.

본 논문에서는 지역의 수요함수 특성에 따라 일상적인 조류의 방향이 <그림2>와 같이 주어졌 것으로 가정하여, 역방향의 혼잡이 발생하는 경우는 고려하지 않았다. 공급함수를 동일하다고 가정하면, 지역 1의 수요가 가장 적고 지역 3의 수요가 가장 많은 경우이다.



<그림 2> 조류 방향

SP111에서는 모든 모선에 혼잡이 발생하여, 각 발전회사는 송전 혼잡으로 인해 자신이 속한 지역에서 독점적인 지위를 가지게 된다. 발전회사 1은 지역 1의 수요와 선로 조류량을 합친  $d1+T1+T3$  에 대해 독점적인 지위를 가지며, 지역 1의 시장가격은 발전회사 1의 공급과  $d1+T1+T3$  가 교차하는 지점에서 결정된다. 이와 비슷하게 발전회사 2는  $d2-T1+T2$  에 대해, 발전회사 3은  $d3-T2-T3$  에 대해 독점적인 지위를 가지게 된다. 이 때의 시장 상태를 살펴보면 <표 1>과 같다.

<표 1> SP111의 지역별 가격

지역	수요	가격결정식
1	$d1+T1+T3$	$C1(p1)=d1+T1+T3$
2	$d1+T1+T3$	$C2(p2)=d1+T1+T3$
3	$d2-T1+T2$	$C3(p3)=d2-T1+T2$

SP011은 지역 1과 지역 2 사이의 송전선을 제외한 나머지 두 송전선에 혼잡이 걸린 전략공간이다. 이때는 발전회사 3만이 자신의 지역에서  $d3-T2-T3$  에 대해 독점적인 지위를 행사하며, 발전회사 1과 2는 서로의 전략에 영향을 받는 이윤함수를 가지게 된다. 또한 지역 1과 2사이에는 혼잡이 발생하지 않았기 때문에, 동일한 시장가격이 존재하며 이 가격은 1, 2 지역 수요와 송전유출량의 합인  $d1+d2+T2+T3$  의 합산 수요와 각 1, 2 지역 입찰함수의 합산 공급함수의 교점에서 결정되게 된다.

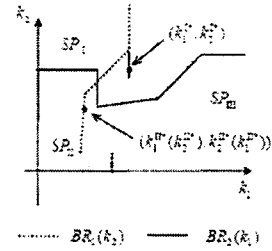
SP001은 지역 1과 지역 3 사이의 송전선에 혼잡이 발생하고 나머지 두 송전선에는 혼잡이 발생하지 않은 경우이다. 송전선에 혼잡이 발생하면 무조건 지역별 가격이 도입되는 2모선 계통과 달리, 본 3모선 계통에서는 한 모선만 혼잡에 걸린 경우에는 비계약시장가격 즉 단일시장가격이 존재하게 된다. 그 이유는 혼잡이 발생한 두 지역 외에 제3의 지역으로 우회하는 송전 용량이 남아있기 때문이다. 이런 전략공간은 ISO가 총 송전 용량을 최소화하기 위해 1지역과 3지역 사이의 송전선이 혼잡에 걸린 이후 우회경로를 활용하기 때문에 생성된다.

SP000은 어떤 송전선도 혼잡에 걸리지 않고 따라서 전 지역에 비계약 단일 시장가격이 존재하는 전략공간이다.

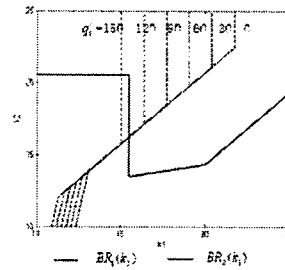
### 2.2.3 2지역 계통 연구결과와의 비교

2지역 계통을 대상으로 한 앞선 연구[1]에서, 밝혀진 내용을 살펴보면 다음과 같은 것들을 알 수 있다.

- 1) 전략공간에 따라 발전회사의 이윤함수는 달라지고, 최대의 이윤을 얻기 위한 전략집합인 최적반응함수에 불연속점이 존재하게 된다.
- 2) 최적반응함수의 불연속점은 <그림3>[1] 과 같이 전략공간이 바뀌는 선과 교차하여 존재하게 된다.
- 3) 최적반응함수의 불연속성에 따라 최적전략 순수 균형이 존재하지 않게 될 때 전력 유입지역의 발전회사는 송전 제약의 정보를 활용하여 혼합전략을 도입하게 된다.
- 4) 혼합전략을 사용하는 경우 유입지역의 발전회사에 장기 선도계약을 부과하는 행위는 <그림4>[1]과 같이 혼잡 발생 확률을 증가시켜 사회 전반 후생의 감소를 발생시킬 수 있다.



<그림 3> 최적반응함수



<그림 4> 선도계약의 영향

이와 같은 사항들을 3모선 계통의 전략공간과 연관 지어 살펴보도록 하자.

우선 SP011과 SP111의 차이점을 살펴보면, 자신의 지역에서 독점적인 지위를 가지는 발전회사가, 3지역 한군데에서 전 지역의 발전회사로 확대됨을 알 수 있다. 여기서 1지역과 2지역간의 거리에서 유입지역의 역할을 하는 2지역이 혼합전략을 사용할 수 있음을 알 수 있다. SP011 상태에서는 3지역의 전략에 의해 1, 2지역의 공통가격이 영향을 받지 않기 때문에, 1, 2지역만의 전략공간을 2모선 계통과 유사하게 설정할 수 있다. 이때 최적반응함수의 불연속성에 의해 교점이 존재하지 않게 된다면, 2지역의 발전회사는 혼합전략을 사용하게 된다. 혼합전략에 따라 전략공간은 SP011과 SP111을 오가게 된다. 두 공간 모두에서 3지역이 개별적 지위를 가지기 때문에, 2모선 계통과 유사한 현상 3), 4)가 발생함을 알 수 있다.

다음으로 SP000과 SP011의 차이점을 분석한다. SP000에서는 어떤 지역의 발전회사도 독점적인 지위를 가지지 못하지만, SP011에서는 3지역의 발전회사가 독점적인 지위를 가지게 된다. 3지역의 이윤함수가 단일전략으로 최대 이윤을 얻지 못 할 때, 혼합전략을 사용함으로써 SP000과 SP011간의 전략공간 전이가 일어날 수 있음을 알 수 있다. 이때에도 2모선 계통과 유사한 현상 3), 4)가 일어나게 된다.

## 3. 결 론

본문에서는 송전 혼잡의 발생이 발전회사의 전략적 행위에 의한 것일 수 있다는 연구 결과와 더불어, 선도계약의 부과가 때로는 사회 후생의 감소를 불러올 수 있다는 다소 새로운 연구결과를 소개하고 있다. 또한 해당 연구 결과가 2지역 계통에 국한되었던 것을 확장하여, 3지역 계통에서도 전략공간의 전이가 일어나는 몇 가지 상황에 유사한 현상이 발생할 수 있음을 밝히고 있다. 모든 지역간의 송전선이 DC라는 한계를 지니고 있지만, 전략공간의 변화에 초점을 맞춘 연구를 바탕으로 기존의 결과를 다 지역 모델로 확장해 나가는 발판을 마련했다는 의의를 가진다고 하겠다. 앞으로의 연구에서는, 실제 계통과 유사한 다 모선 계통에서 교류 송전을 사용하는 경우에도 유사한 현상이 나타날 수 있는지의 여부에 중점을 두어야 할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Nam, Young-Woo, Yong Tae Yoon, Hur, Don, Jong Keun Park, 김성수, "Effects of long-term contracts on firms exercising market power in transmission constrained electricity markets", Electric Power Systems Research, vol. 76 no. 6-7 pp.435-444, 2005
- [2] S. Borenstein, J. Bushnell, and S. Stoft, "The competitive effects of transmission capacity in a deregulated electricity industry," Rand J. Econ., vol. 31, no. 2, pp. 294-325, 2000.