

혼잡에 의한 시장지배력 산정 방안

이동진 신영균 정구형 김발호
홍익대학교

Estimation of Local Market Power under Transmission Congestion.

D.J Lee Y.G Shin K.H Chung B.H Kim
Hongik University.

Abstract - Transmission congestion is one of the key factors to local market power in competitive electricity markets. This paper presents an alternative methodology in estimating market power under transmission congestion. The proposed methodology was demonstrated with the Optimal Power Flow(OPF).

1. 서 론

세계적으로 전력산업에 대한 구조개편은 여러 나라에서 이루어지고 있으며, 우리나라 전력산업 구조개편은 현재 진행 중이다. 발전 부문이 6개의 발전 자회사로 분할되어 경쟁시장을 형성하고 있으며, 배전 부문도 분할 예정되어 있다. 전력산업의 구조개편에서 가장 중요한 변화는 전력산업 시장에서 발전과 배전부문의 민영화 및 경쟁의 도입이다. 경쟁의 도입은 발전부문과 배전부문에 있어서 효율성의 증진과 함께 비용의 절감도 가지고 올 것으로 예상하고 있다. 현재 시험가동 되고 있는 발전경쟁 제도에서 관찰된 결과는 긍정적이다. 전력 요금은 낮아졌고, 계통의 안정도는 만족할만한 결과를 나타내었다.

경쟁의 도입은 시장의 효율성 증진 및 가격인하의 장점을 가지고 있지만 여러 가지 공정한 경쟁을 저해하고 시장의 효율성을 떨어뜨리는 문제점이 나타날 수 있다. 본 논문은 전력 산업 구조개편시 발생가능한 문제점 중에서 시장지배력 분석방법을 제시한다. 시장지배력은 모든 상품시장에서 행사될 수 있지만, 전력 산업의 특수한 구조상 송전혼잡에 의한 시장지배력의 행사가 일어날 가능성은 전력시장 고유의 문제점이다. 자세히 말하면 시장 전체로 보아서 충분한 예비력을 확보한다고 해서 시장지배력이 행사되지 않는다고 보기 어렵다. 따라서 시장지배력의 행사를 평가, 측정함에 있어서 좀 더 정확한 기준을 필요로 한다.

본 논문은 다음과 같은 내용을 포함한다. 우선 시장지배력의 간단한 설명과 용량에 의한 시장지배력, 그리고 혼잡에 의한 시장지배력의 간단한 그림을 통해 어떻게 행사 될 것인가를 살펴보고, 사례연구를 통해 실제 예계 계통에서 이를 발전할 수 있는 방법을 제안한다. 그리고 예계 계통을 통해 혼잡에 의한 시장지배력 행사의 가능성을 발전하고 시장지배력의 정도를 계산한다.

2. 본 론

2.1 일반적 시장지배력

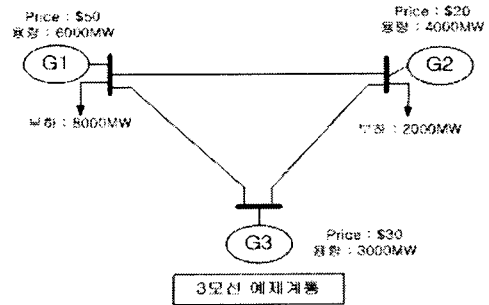
시장지배력이란 시장 참여자가 시장에서 상품의 가격을 자신에게 이익이 되도록 일정기간 조작할 수 있는 능력을 말한다. 발전경쟁을 시행하고 있는 국내 전력시장의 경우 발전 사업자가 시장지배력을 가질 수 있는 가능성이 존재한다.

다음 단원에서 시장지배력을 시장 점유율과 혼잡에 의한 두 가지 측면으로 설명하고 그중에 쟁점이 되는 혼잡에 의해 발생하는 시장지배력의 평가와 그 수치를 찾아내는 방법을 설명하기로 한다. 그리고 사례 연구를 통해

제안한 방법을 계통에 적용한다.

2.1.1 일반적인 시장지배력의 산정 방안

간단한 3모선 계통의 모델을 예로 들어보자.



<그림 1> 3모선 계통

<그림 1>의 계통에서 발전기 G1, G2의 발전용량이 배제될 경우 전력 수급자체가 불가능 해 짐으로써, 강력한 시장지배력을 가진다고 간주한다. 이러한 시장지배력의 행사는 시장 가격의 상승을 초래하여 궁극적으로 시장왜곡으로 이어질 수 있다. 다음에 설명하는 RSI 지수는 일반적인 시장지배력을 평가할 수 있는 지수중 하나로서, 점유율에 의한 시장지배력을 알아 볼 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다.

$$RSI \text{ index} = \frac{\text{전체계통공급가능량} - \text{자신의용량}}{\text{전체계통부하량}}$$

$$RSI_{G1} = \frac{13000 - 6000}{10000} = 0.7$$

$$RSI_{G2} = \frac{13000 - 4000}{10000} = 0.9$$

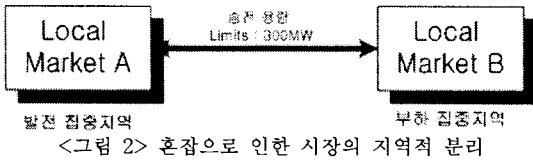
$$RSI_{G3} = \frac{13000 - 3000}{10000} = 1.0$$

RSI 지수 < 1.0 => 강한 시장지배력 소유
1.0 ≤ RSI 지수 < 1.2 => 시장지배력 행사 예상

그러나 전력계통의 기본 특성의 하나인 혼잡을 고려할 경우 보다 복잡한 메커니즘이 필요하며, 이러한 평가의 의미는 상실될 수 있다.

2.2 혼잡에 의한 시장지배력의 발생

논문의 주안점은 혼잡에 의해 발생하는 시장지배력 행사(가능성)를 발견하는 방법이다. 이를 위해 간단한 시장을 예로 들어보자. 다음은 두 계통의 연계로 이루어진 하나의 전력시장이다.



그림의 시장은 지역 전체적으로 보아 충분한 예비력이 갖추어져 있더라도 부하 집중지역의 발전기는 선로 용량 제약에 의해 발생하는 시장지배력을 가질 수 있다. 두 지역적 시장을 동일 시장으로 인식, 시장감시를 하여서는 시장 감시가 올바른 역할을 하기 어려우며 사실상 분리된 시장으로 보아 시장 감시를 해야 한다[1]. 이러한 과정은 매우 복잡한 절차를 거쳐야 하며 명확한 기준이 결정되지 못했다. 본 논문에서는 혼잡에 의한 시장지배력 잠재성을 평가하기 위해 다음과 같은 방법을 제안한다. 다음은 이를 수행하기 위해 간단한 수학적 정식화를 보인 것이다.

실제 급전 OPF 정식화

$$\begin{aligned} \min C(P_{GR}) \\ \text{s.t.} \\ F(P_G, Q_G, V, \theta) = 0 \quad (\text{Equality constraints}) \\ H(P_G, Q_G, V, \theta) \leq 0 \quad (\text{Inequality constraints}) \end{aligned}$$

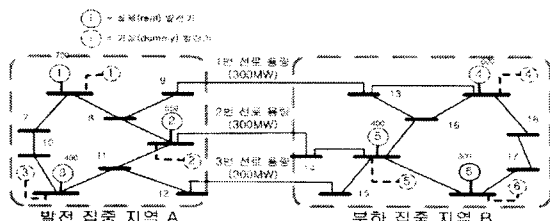
시뮬레이션 계통 OPF 정식화 (임의 발전기 탈락)

$$\begin{aligned} \min C(P_i) \quad (= P_i = P_{Gi} + P_{Di}) \\ \text{s.t.} \\ F(P_i, Q_i, V_i, \theta_i) = 0 \quad (\text{Equality constraints}) \\ H(P_i, Q_i, V_i, \theta_i) \geq 0 \quad (\text{Inequality constraints}) \\ C(P_{Di}) \gg C(P_{Gi}) \\ P_{Gi} : \text{실제(real) 발전기 유효전력 발전량} \\ P_{Di} : \text{가상(dummy) 발전기 유효전력 발전량} \end{aligned}$$

모든 실제 발전 모션에는 실제 발전기와 가상 발전기를 두고, 해당 발전기의 출력을 대체할 수 있는 발전기를 구별하기 위해 발전기 탈락을 고려하지 않은 Base Case와 더불어 임의의 한 발전 모션의 실제 발전기를 탈락시키고 새로운 OPF 급전을 수행한다. 이 때 탈락 발전기의 기존 출력을 외부 발전기들이 분담하게 될 것이며, 계통 혼잡으로 인해 이러한 대체가 불가능 할 경우 해당 모션을 포함한 임의의 모션의 가상 발전기가 출력을 부담해야 할 것이다.

2.2.1 혼잡에 의한 시장지배력의 산정 방안과 사례연구.

사례연구를 위해 18모션 계통을 약간 수정하였다.[2]



Real generator i와 dummy generator i는 같은 모션에 위치한다.

<그림 3> - 사례 계통

< Table 1. > 발전기, 부하 DATA

발전기 DATA		부하 DATA			
발전기#	용량제한	모션 번호	부하량 (MW)	모션 번호	부하량 (MW)
G1	600	BUS 7	50	BUS 15	400
G2	500	BUS 8	150	BUS 16	300
G3	500	BUS 9	100	BUS 17	200
G4	500	BUS 12	50	BUS 18	450
G5	400	BUS 13	170		
G6	200	BUS 14	100	Tot	1970

발전 비용 함수 => $C(P_G) = C(P_G)^2 + BP_G + A$

발전기 #	A	B	C
G1	450.0	13.41	0.002641
G2	560	14.17	0.002496
G3	560	14.17	0.002496
G4	922	15.84	0.003124
G5	620	15.70	0.003880
G6	856	15.94	0.004640
G-dummy	1700	100	0.015000

계통의 초기 급전 상황 및 각 발전기 off 상태의 분석표이다. 각 발전기를 off 했을 때의 발전 분담 상황과 선로 조류량, dummy 발전기의 가동 상황을 표시하고 있다.

< Table 2 > - 사례연구 결과

☞ 초기 급전계통

계통의 조건	
실제 가용용량	P : 2,700 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	285.7 MW
선로 조류량 Line 2	300.0 MW
선로 조류량 Line 3	299.8 MW

시장 전체 비용 = $0.350 \cdot 10^8$ 원 / hour

☞ G1 off

계통의 조건	
실제 가용용량	P : 2,100 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	-27.4 MW
선로 조류량 Line 2	300.0 MW
선로 조류량 Line 3	255.8 MW
Dummy Generation(MW)	Not Generating
실제 발전기 출력량 조절 (MW)	G2=135 G3=106 G4=211 G5=139 G6=8 Total=598

계통 전체 비용 $0.415 \cdot 10^8$ 원 / hour

(비용 상승 = $0.065 \cdot 10^8$ 원/hour)

☞ G2 off

계통의 조건	
실제 가용용량	P : 2,200 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	278.5 MW
선로 조류량 Line 2	191.2 MW
선로 조류량 Line 3	273.3 MW
Dummy Generation(MW)	Not Generating
실제 발전기 출력량 조절 (MW)	G3=115 G4=83 G5=50 G6=8 Total=256

계통 전체 비용 $0.407 \cdot 10^8$ 원 / hour

(비용 상승 = $0.057 \cdot 10^8$ 원/hour)

☞ G3 off

계통의 조건	
가용용량	P : 2,200 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	200.8 MW
선로 조류량 Line 2	300.0 MW
선로 조류량 Line 3	222.8 MW
Dummy Generation(MW)	Not Generating
실제 발전기 출력량 조절 (MW)	G2=230 G4=88 G5=65 G6=8 Total=391

계통 전체 비용 0.407×10^8 원 / hour

(비용 상승 = 0.057×10^8 원 / hour)

☞ G4 off

계통의 조건	
실제 가용용량	P : 2,200 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	300 MW
선로 조류량 Line 2	300 MW
선로 조류량 Line 3	300 MW
Dummy Generation(MW)	$G_{D4} = 57.1$ $G_{D5} = 30.5$ $G_{D6} = 39.0$ Tot = 126.6
실제 발전기 출력량 조절 (MW)	G1=-32 G2=-4 G3=50 G5=139 G6=8 Tot=161

계통전체 비용 0.510×10^8 원 / hour

(비용 상승 = 0.160×10^8 원 / hour)

☞ G5 off

계통의 조건	
실제 가용용량	P : 2,300 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	285.2 MW
선로 조류량 Line 2	300.0 MW
선로 조류량 Line 3	300.0 MW
Dummy Generation(MW)	$G_{D5} : 47.4$ MW
실제 발전기 출력량 조절 (MW)	G2=-11 G3=15 G4=214 G6=8 Tot=226

계통 전체비용 0.446×10^8 원 / hour

(비용 상승 = 0.096×10^8 원 / hour)

☞ G6 off

계통의 조건	
실제 가용용량	P : 2,500 MW
Total Load	P : 1,970 MW
선로 조류량 Line 1	281.0 MW
선로 조류량 Line 2	300.0 MW
선로 조류량 Line 3	300.0 MW
Dummy Generation (MW)	Not Generating
실제 발전기 출력량 조절 (MW)	G2=-1 G3=-3 G4=101 G5=96 Tot=193

계통 전체비용 => 0.403×10^8 원 / hour

(비용 상승 = 0.053×10^8 원 / hour)

이러한 결과는 다음과 같은 주장을 뒷받침 해준다.

(1) 지역 A의 발전기가 탈락된다 할지라도 시장 전체의 예비력이 충분하다면 계통의 dummy 발전기는 가동되지 않는다. (= 발전 지역의 발전기는 혼잡에 의한 시장지배력을 가질 수 없다.)

(2) 지역 B의 발전기는 off 되었을 때, 대용량일 경우 dummy 발전기의 가동을 가져오고 소용량일 경우에는 부하 집중지역의 발전기에게 대부분의 초기 계통 발전량이 분담된다. 즉 부하 집중지역의 대용량 발전기는 강한 시장지배력을 가지고 소용량 발전기는 계통 상황에 따라 시장지배력을 행사할 수 있는 가능성을 소유하게 된다.

(3) dummy 발전기의 발전량(=발전기의 필수 발전량)으로부터 대상 발전기의 잠재적인 시장지배력을 평가할 수 있는 기준으로 활용이 가능하다. 즉 가상발전량은 해당 계통수행에서 타 발전기의 대체가능성을 배제시키는 기준으로 평가될 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 혼잡에 의한 시장지배력의 행사 가능성을 평가하고 그 정도를 알아보는 방법을 제시하였다. 제시된 방법은 과거 시장 점유율만으로 시장지배력을 측정하던 방법으로 알아낼 수 없었던 혼잡에 의한 시장지배력의 행사를 발견해 낼 수 있는 능력이 있다. 혼잡에 의한 시장지배력의 정도를 알아낼 수 있다면 must-run 계약이나 신규 발전기 투자, 송전 선로 건설에 많은 도움이 될 것이다. 그러나 발전기의 출력량 조절 DATA는 발전량 분담으로 보기에는 무리가 있다. 발전기의 감발에 따라 타 발전기의 발전량이 선형으로 증가하는 것은 아니기 때문이다. 가상 발전기의 발전량 또한 선형으로 증가하지 않는다. 실제 계통이 비선형이므로 발생할 수 있는 문제점은 앞으로의 연구과제가 될 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업(과제번호:I-2002-0-042-5-00)으로 수행된 논문입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Leeprechanon, N., David, A.K., Moorthy, S.S., Brooks, R.D.& Nealand, J.H, "Market Power in Developing Country", International Conference. IEEE, Vol 3, pp. 1805-1813, 2002
- [2] Allen J. Wood & Bruce F. Wollenberg, "POWER GENERATION, OPERATION, AND CONTROL", JOHN WILEY & SONS, INC., pp 369, 1996
- [3] Gan, D.& Bourcier, D.V., "A Simple Method for Locational Market Power Screening", Power Engineering Society Winter Meeting. IEEE, Vol 1, pp 434-439, 2002