

P-POOL 모형을 이용한 장기 전력시장 분석 방법론 연구

박종배*, 김민수*, 신종린*, 김창수**, 이창호**
*건국대, **한국전기연구원

A Study on Long-term Electricity Market Analysis Technique Using P-POOL

Jong-Bae Park*, Min-Soo Kim*, Joong-Rin Shin*, Chang-Soo Kim**, Chang-Ho Rhee**
*KonKuk University, **Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper presents long-term electricity market analysis simulation considering Genco's strategy using P-POOL. In the competitive electricity market, system operation and/or market operation is highly depended on the participants' intention and his planning. We focus on the Genco's strategy, including maintenance scheduling and bidding strategy. And we represent his profit using 3-Bus sample system.

송전선 사용량 및 발전회사별 이익을 계산한다. 또한 오염물질 배출과 계약 및 현물 연료에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 시뮬레이션을 위한 주 화면은 그림 1과 같다.

1. 서 론

최근 전력산업의 구조개편을 통한 경쟁적 전력시장의 도입에 따라, 과거의 독점 사업자의 통합계획으로부터 발전사업자 등의 시장참여자에 의해 시장이 운영되고 있다(1, 2). 따라서 시장 운용자는 이러한 시장 참여자에게 이익이나 가격 신호등과 같은 시장 정보를 제공하는 역할로 기능이 정립되고 있으며, 이러한 실정으로부터 경쟁시장에서 장기전력 시장계획은 참여자 중심의 계획으로 변화되어야 하며 시장은 신규 투자의 유인과 장기 전력 수급안정성을 확보하기 위해서 적절하고 정확한 정보를 제공해야 한다.

새로운 시장 환경에서 가장 중요한 요소는 시장 참여자의 이익이며, 이것은 투자비용 및 유지비용, 그리고 시장규칙으로 정의된 다양한 비용과 참여자의 전략을 포함한다. 시장에서의 가격은 에너지 가격뿐만 아니라 순동예비력(Spinning Reserve), 무효전력 등과 같은 품질유지 서비스(Ancillary Service) 및 환경비용(Pollutant Emission)과 같은 많은 요소들이 있으며 참여자는 이러한 모든 가격 요소들을 통합적으로 고려하여 시장에 참여한다(3, 4).

본 논문은 장기 전력시장모델인 P Plus 사의 P-POOL 전산 모형을 사용하여 장기 전력시장 분석을 수행한다. 사례연구를 통하여, 미래의 수급안정성 확보 등의 시장 운영을 위한 투자 유치를 유도하기 위하여 각 발전사업자별 발전기 운영계획 및 그에 따르는 수익변화를 도출한다.

2. P-POOL 전산모형

2.1 모형 개요

P-POOL은 전력산업 구조 개편에 따라 새로 형성된 전력시장의 발전 시뮬레이션을 위해 P Plus 사에 의해 개발된 프로그램이다. 과거의 프로그램은 전력계통에서 비용 최소화를 목적으로 하고 있었으나, P-POOL은 시장에서 각 발전회사를 포함한 참여자의 이익 최대화를 목적으로 하고 있다. 전력시장을 모의하기 위해서 입찰 가격에 의한 발전 사업자 시뮬레이션, 에너지 가격, 용량 가격, 순동 예비력 가격 및 기타 품질유지 서비스 가격에 대한 시뮬레이션이 가능하다. P-POOL은 시간별 부하와 발전소 특성 자료를 고려하여 급전을 수행하고

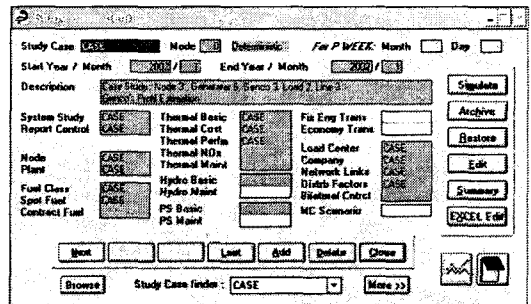


그림 1 Study Case 주 화면

P-POOL은 각 데이터베이스를 연결하여 시뮬레이션을 수행하며 사용자가 필요한 내용만을 입력할 수 있다. 입력데이터는 Node와 Network Links 등의 계통데이터와 현물 및 계약 연료데이터, 그리고 발전소 데이터와 발전회사 데이터 등이다.

분석기간은 1달에서 30년까지 가능하며, 그림 2와 같이 MCS(Monte Carlo Simulation) 모듈을 이용하여 고장정지를 계산하기 위한 몬테 카를로 시나리오를 생성하고 AUTOMNT(Auto Maintenance Scheduling) 모듈을 이용하여 발전소의 예방정비 계획을 수립한다. 그리고 POOL을 사용하여 시장분석을 수행한다.

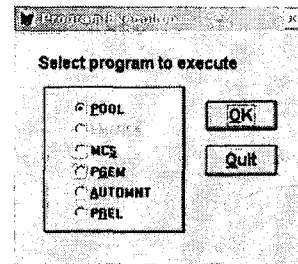


그림 2 실행 선택 화면

2.2 기능

현재의 전력계통을 모델링하고 발전비용 및 시장가격 등을 고려하여 발전회사별 수익을 계산하며 연료비 변화와 환경문제 등을 고려하여 미래 전력시장을 모의한다. 모의 결과로부터 발전회사별 수익결과를 토대로 각 발전회사는 발전소의 신설 및 폐지, 그리고 연료 사용량을 계획할 수 있으며, 발전회사의 설비확충계획 및 송전선로 확충계획, 그리고 환경문제에 따른 장기 운영계획을

수립할 수 있다.

MCS 모듈은 각 발전소별 고장 정지율을 바탕으로 주별 고장정지 시나리오를 출력한다. AUTOMNT 모듈은 사용자가 입력한 예방 정비계획을 바탕으로 주간 예비율 평활화 기법을 이용하여 용량 우선 순위법으로 예방 정비계획을 생성한다. 또한 순동 예비력의 확보를 위해서 발전소별 순동 예비력에 대한 기어를 지정할 수 있으며 시장규칙에서 정한 가격에 따라 수익을 계산하고, 각 노드별 한계비용을 계산하여 시장가격(Market Clearing Price : MCP)을 결정하여 시장 규칙에 따른 정산으로 발전회사별 수익을 출력한다. 급전은 입찰 가격이 낮은 발전소가 우선 순위를 가지며 계통과 발전소의 특성을 고려하여 급전을 수행한다. 계통의 특성은 선로와 분배 계수를 사용하여 모델링한다.

3. 사례 연구

상기 전력시장에 대한 모델링을 수행하기 위해서 3도선 예제 계통을 사용하였으며, 2003년 1월부터 2005년 12월까지 3년 동안의 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 계통 구성

계통은 그림 3과 같이 3개의 노드와 3개의 선로로 구성되어 있고, 6대의 발전기와 2개의 부하로 구성되어 있다.

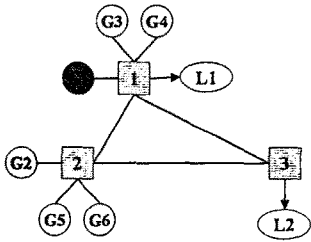


그림 3 예제 계통도

송전 계통은 송전단과 수전단으로 선로의 연결을 표현하며, 조류계산 알고리즘으로부터 분배계수를 설정한다. 각 발전기별 데이터는 다음 표 1과 같고 표 2는 분배계수를 나타낸다.

표 1 발전기 데이터

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
최소용량[MW]	50	60	35	40	45	50
최대용량[MW]	180	200	70	75	80	85
예비력 기여[%]	25	35	0	0	0	0
연료가격[\$/MBtu]	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0
VOM 비용[\$/MWh]	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
고장정지율[%]	0.04	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02
유지보수율[%]	4.0	9.0	2.0	2.0	2.0	2.0
소유회사 번호(Genco)	1	2	3	3	3	3

표 2 송전망 분배계수

Source Node	Sink Node	분배 계수		
		T1(1-2)	T2(1-3)	T3(2-3)
1	3	0.25	0.75	0.25
2	1	-0.75	-0.25	0.25
2	3	-0.50	0.50	0.50

부하는 L1과 L2가 각각 연간 최대 100MW와 200MW이며, 년간 부하 증가율은 10%로 가정하였으며, 연료가격의 증가율은 매년 1%로 가정하였으며, 발전회사는 발전비용의 25%를 가산하여 입찰한다고 가정하였다. 또한 수요는 하루동안의 수요 변화를 고려하였으며 연중 모두 일정하다고 가정하였으며 하루 동안의 수요를 표현하면 아래 그림과 같다.

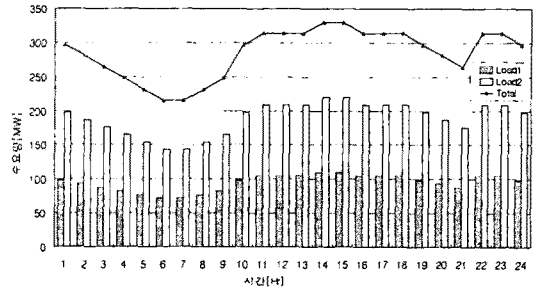


그림 4 계통의 수요 데이터

3.2 모델계통 시뮬레이션 결과

전력시장을 시뮬레이션 하기 위해 우선 발전기 예방 정비계획을 수립해야 한다. AUTOMNT 모듈을 사용하여 입력한 예방 정비율을 바탕으로 주간 예비율 평활화를 목적으로 하는 예방정비 계획을 수립한다. 수행 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3 발전기 예방 정비계획 결과

	정비 시작일	정비 종료일	정비기간
G1	2003/ 2/ 3	2003/ 2/16	14
	2004/ 2/ 2	2004/ 2/15	
	2005/ 2/ 7	2005/ 2/20	
G2	2002/12/30	2003/ 2/ 2	35
	2003/12/29	2004/ 2/ 1	
	2005/ 1/ 3	2005/ 2/ 6	
G3	2003/ 3/10	2003/ 3/16	7
	2004/ 3/ 8	2004/ 3/14	
	2005/ 3/14	2005/ 3/20	
G4	2003/ 3/ 3	2003/ 3/ 9	7
	2004/ 3/ 1	2004/ 3/ 7	
	2005/ 3/ 7	2005/ 3/13	
G5	2003/ 2/24	2003/ 3/ 2	7
	2004/ 2/23	2004/ 2/29	
	2005/ 2/28	2005/ 3/ 6	
G6	2003/ 2/17	2003/ 2/23	7
	2004/ 2/16	2004/ 2/22	
	2005/ 2/21	2005/ 2/27	

다음 표 4는 입찰가격이 낮은 순서대로 급전 우선순위 결과를 출력한 것이다. 이 순서에 따라서 가장 낮은 입찰가격의 발전기부터 전체 계통 수요를 만족시킬 때까지 급전을 실시하게 되며, 수요를 만족시킨 마지막 발전기의 입찰가격이 MCP로 결정된다. 그리고 그 이후 발전기는 입찰에 탈락된다.

다음 그림 5는 시뮬레이션 기간동안 발전회사별 월간 발전량을 나타낸다. 그림 5에서 전체적인 발전량은 수요의 증가에 따라 점차 증가하고 있으며 1-3월 기간동안에는 예방 정비계획에 따라서 발전량이 크게 차이가 나며, 현재 계통에서는 각 발전회사의 예방 정비계획이 상대 전력회사에 대해 상당한 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다.

표 4 발전기 급전 우선순위

우선순위	발전기	입찰가격	우선순위	발전기	입찰가격
1	G1	30.02	22	G6	32.62
2	G1	30.78	23	G2	32.62
3	G2	31.1	24	G5	32.69
4	G3	31.5	25	G4	32.73
5	G1	31.54	26	G6	32.73
6	G2	31.61	27	G3	32.83
7	G3	31.72	28	G6	32.84
8	G3	31.95	29	G4	32.87
9	G2	32.12	30	G5	32.93
10	G4	32.16	31	G4	33.01
11	G3	32.17	32	G1	33.06
12	G6	32.17	33	G2	33.13
13	G6	32.28	34	G5	33.17
14	G4	32.3	35	G5	33.41
15	G1	32.3	36	G2	33.63
16	G3	32.39	37	G5	33.64
17	G6	32.4	38	G1	33.82
18	G4	32.44	39	G5	33.88
19	G6	32.51	40	G5	34.12
20	G4	32.59	41	G2	34.14
21	G3	32.61	42	G1	34.39

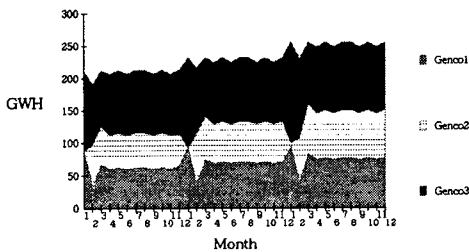


그림 5 월간 발전회사별 발전량

다음 그림은 각 발전기가 예방 정비 중에 있을 경우에 MCP의 변화를 나타낸 것이다.

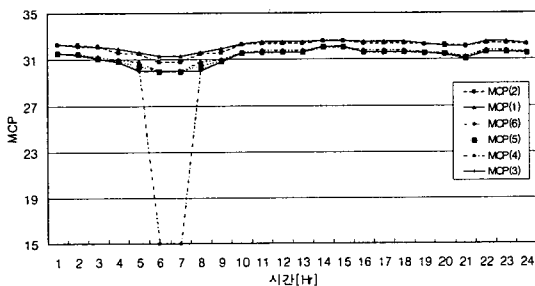


그림 6 발전기가 예방정비 중에 있을 경우 MCP 변화

MCP가 위와 같을 경우 각 발전회사의 월간 이익을 계산하면 다음 그림과 같이 나타나고 여기서, Genco3의 이익은 음(-)의 값이 나오기 때문에 비교를 하기 위해서 양수로 변환하여 표현하였다.

그림에서 1,2,3월과 12월은 시장에 참여한 발전기의 예방정비가 고려된 결과이기 때문에 다른 달과 차이를 나타내고 있다. 작은 규모의 계통이기 때문에 예방정비 계획에 매우 큰 영향을 받는 결과를 나타냈다. Genco3의 경우 스스로 입찰전략을 세우지 않고 항상 시장에 참여하여 발전기를 기동한다고 가정을 하여 시뮬레이션을

수행하였다.

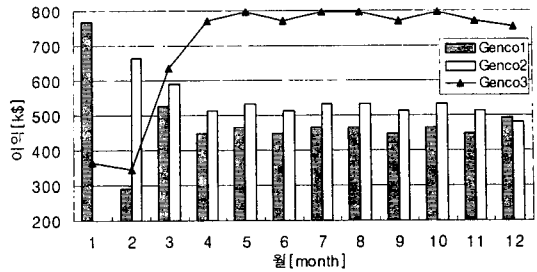


그림 7 월간 발전회사별 이익(2003년)

사례연구 결과로부터 Genco1과 Genco2가 소유하고 있는 발전기는 주로 기저부하를 담당하고 있고, 상대적으로 Genco3가 소유하고 있는 발전기는 첨두부하를 담당하고 있다고 추론할 수 있다. 여기서, 기저부하를 담당하는 발전기의 경우 상대적으로 용량이 크며 해당 발전기의 예방정비계획이 시장가격에 상당한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 결국 기저발전기가 전체 계통에서 효율적으로 예방 정비계획이 수립되어야 안정적인 시장을 운영할 수 있다.

또한 첨두 발전기의 경우 시장 수요에 적절히 대응하여 시간별 입찰에 참여해야 회사의 이익을 극대화시킬 수 있다.

4. 결 론

시장경쟁체제의 새로운 형태로 운영되는 전력계통은 과거 독점기업에 의한 획일적 계획과 운용에서 시장 참여자의 자발적인 계획과 참여에 의해 운영된다. 따라서 시장경쟁원리에 입각하여 전력계통 안정과 전력시장 안정을 동시에 도모해야 한다. 사례연구를 통하여 참여자의 자발적인 의사결정이 전력계통에 커다란 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 따라서 안정적인 계통을 운용하기 위해서는 참여자에게 적절한 신호를 주어 계통의 안정성을 확보해야 한다.

전력시장에서 가장 중요한 신호는 가격신호가 될 것이며 시장 운용자의 역할은 적절하고 다양한 신호를 제공하는 기능으로 변화되어야 한다.

본 논문에서는 소규모 계통에 대한 모의를 수행하였으며, 향후에는 실제 계통에 대한 모의를 수행하여 다양한 시나리오를 생성하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. B. Park, Y. M. Park, J. R. Won and K. Y. Lee, "Least-cost Generation Expansion Planning Based on an Improved Genetic Algorithm", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 2, pp. 1043-1047, 1999
- [2] C. T. Su, G. R. Lii and J. J. Chen, "Long-term Generation Expansion Planning Employing Dynamic Programming and Fuzzy Techniques", Industrial Technology 2000, Proceedings of IEEE International Conference, Vol. 1, pp. 644-649, 2000
- [3] S. Ahmed and G. Strbac, "A Method for Simulation and Analysis of Reactive Power Market", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, Issue 3, pp. 1047-1052, Aug. 2000
- [4] J. Zhu, G. Jordan and S. Ihara, "The Market for Spinning Reserve and Its Impacts on Energy Prices", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 2, pp. 1202-1207, 2000