

교육용 현물전력시장 모의 시뮬레이터

양광민*, 이기송*, 박종배*, 신종린*
건국대학교 전기공학과*

Development of the Educational Simulator for the Electricity Spot Market in Korea

Kwang-Min Yang*, Ki-Song Lee*, Jeong-Kyu Lee*, Jong-Bae Park*, Joong-Rhin Shin*
Department of Electrical Engineering, Konkuk University*

Abstract - This paper discusses the development of the educational simulator for the electricity spot market in Korea. The interaction between lectures and users can be much enhanced via the web-based programs which result in the student's learning effectiveness on an electricity spot market. However the difficulties for developing web-based application programs are that there can be the numerous unspecified users to access the application programs. To overcome the aforementioned multi-users problem and to develop the educational simulator, we have revised the system architecture, the modeling of application programs, and database which efficiently and effectively manages the complex data sets related to an electricity spot market. The developed application program is composed of the physical three tiers where the middle tier is logically divided into two kinds of application programs. The divided application programs are interconnected by using the Web-service based on XML (Extended Markup Technology) and HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) which make it possible the distributed computing technology.

1. 서 론

과거 독점사업으로 대표되었던 전력산업은 최근 전 세계적으로 전력산업에 부문별 구조개편, 수평적인 경쟁을 도입하여 효율성을 증대시키고 있다. 이미 몇몇의 경쟁적인 전력시장이 만들어졌고 그 외에 많은 나라들이 경쟁적 전력시장 도입을 위해 준비하는 등 전력 산업의 규제 완화는 전 세계에 걸쳐서 진행되고 있다. 이러한 규제 완화의 방법은 각 나라나 지역의 특징에 따라 각각 다른 시장 구조로 발전되어가고 있다[1-2]. 이에 많은 논문들이 저마다의 독특한 시장 구조에 적합한 시뮬레이터를 개발하거나[3-5] 새로운 시장 구조를 마음대로 구성해 모의해 볼 수 있는 시뮬레이터가 개발되고 있다[6].

현재 우리나라의 경우 2000년 4월 한국전력거래소를 발족하여 발전부분에서 6개 발전회사로 나누어 전력계통 및 경쟁적 전력시장의 초기단계 모델인 발전경쟁시장(CBP)을 운영하고 있으며 향후 양방향 도매전력시장(TWBP)을 개설할 예정이다. 그러나 우리나라의 전력시장 모델을 다룬 시뮬레이터는 요원하다 할 수 있다.

그리고 경쟁적 전력시장에서는 비용최소화 방법론을 기반으로 하는 과거 독점체제에서의 전력계통의 운용 및 제어 방법과는 달리 시장참여자들의 이익극대화를 위한 방법론을 기반으로 운영될 것이다. 따라서 경쟁적 전력시장에서 운영 방법론은 과거의 최적화 방법론과 다른 방법론을 기반으로 운영되어야 하며, 이에 전력거래 및

전력 시장분야와 전력 시스템을 운영을 위한 전문 인력은 전력 시스템과 시장 분야의 안정한 운영과 발전을 위해 매우 중요하다 할 수 있다. 그렇기 때문에 전력시장과 관련된 교육과정이 개설되고 있으며, 학습의 효과를 높일 수 있는 많은 방법들과 툴들이 많이 발표되고 있다[6-8].

이러한 경향에 따라 본 논문에서는 우리나라의 향후 양방향 도매전력시장의 전력거래 방법, 시장규칙 등을 웹을 통하여 모의할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 대부분의 전력산업 기술을 해외에 의존하고 있는 우리나라의 경우 본 연구의 결과는 경쟁적 전력시장의 이론 및 기술 개발 분야의 자립을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 현 전력시장 관련 실무자 혹은 전력계통을 학습하고 있는 학생들에게 향후 양방향 도매전력시장의 운영 및 제어 방법론 등의 이해를 도와줄 수 있을 것으로 판단된다.

2. 시뮬레이터의 구성

2.1 시스템 구성

웹 기반 응용프로그램을 가장 손쉽게 개발할 수 있는 시스템 구조는 대부분의 연산 모듈과 DB 관련 모듈, 웹 서버 모듈 등을 하나의 서버에 구축하는 것이다. 위와 같은 형태로 구축된 경우 개발자로서 얻을 수 있는 가장 큰 장점은 모든 모듈을 포함하고 있는 서버만을 통하여 개발자가 관리하면 되므로 응용프로그램 확장이나 유지·보수할 때 시간과 노력을 절약할 수 있다. 하지만, 웹 기반 응용프로그램의 경우 불특정 대다수가 접근하여 서버에 응용프로그램의 구동과 결과를 요청하기 때문에 하나의 서버에 모든 모듈이 포함된 경우에는 서버의 시스템 사양, 뿐만 아니라 대다수 응용프로그램 이용자의 서버 사용에 대한 최적 분배 알고리즘 등이 요구될 것이다. 따라서 대부분의 웹 기반 응용프로그램들은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 분산 시스템을 구축하여 연산에 대한 컴퓨터 시스템의 물리적인 부담을 최소화하고 있다[9]. 따라서 본 논문에서 개발한 시뮬레이터는 그림 1처럼 각 기능별로 몇 개의 모듈로 나누어 구성하였다.

【Web Server】는 웹 서비스를 위한 모듈로서 사용자가 자신의 웹 브라우저를 통해 접근했을 때 처리해주는 부분이다. 사용자가 접속해 오면 【Web Server】에서는 웹 서비스를 위해 세션을 생성, 사용자의 요청에 응답하게 된다. 이때 사용자의 요청은 웹 페이지 상에 메뉴를 통해 이루어지며 예상되는 요청에 따른 응답은 【MI Server】 모듈에 정의되어 있다.

【MA Server】는 시장을 모의할 수 있는 알고리즘이 들어있는 모듈이다. 이 서버는 항상 대기 상태에 있으며 특정 시간이나 신호에 따라 실행된다. 교육자는 시장의 모의를 위해 특정 시간에 시작하는 옵션과 교육자의 시

작 명령으로 시작할 수 있는 옵션을 선택할 수 있으며, 이 옵션에 따라 [MA Server]는 동작하게 된다.

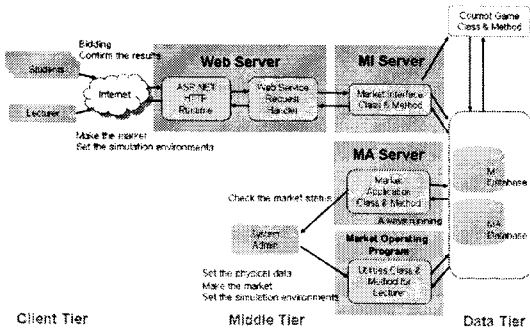


그림 1 교육용 현물전력시장 모의 시뮬레이터 전산모형의 구조
Fig. 1 System architecture for developing the educational electricity spot market simulator

【Market Operating Program】는 교육자가 시장모형을 만들기 전에 테스트하고 각 발전기, 부하 등을 설정할 수 있는 모듈을 제공하고 있다. 그리고 Cournot 모듈의 경우 앞으로 추가될 모듈로서, 학습자의 입찰을 Cournot 게임을 이용한 입찰과 비교할 수 있도록 제공될 예정이다.

현 전산모형의 경우 데이터베이스를 두개 사용하며 MI Database의 경우 【MI Server】에서 사용하는 데이터가 저장되고, MA Database의 경우 【MA Server】에서 사용하는 데이터가 저장되는 장소이다.

2.2 시장모의 순서

시장가격 MCP와 선로 제약에 의한 Constraint On/Off 물량을 구하는 부분은 【MA Server】모듈에 구현되어 있으며 그 순서는 다음과 같다.

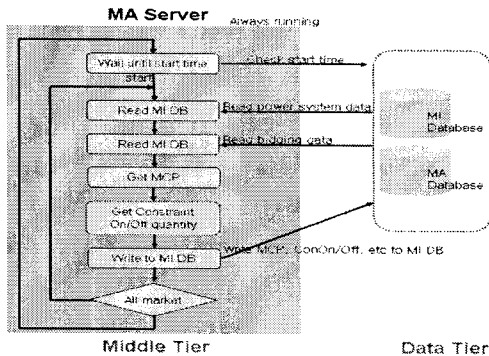


그림 2 MA Module의 순서도
Fig. 2 The flow char of the MA Module

- 1) "MA Server"는 시작 신호가 올 때까지 대기상태에 있다. 시작 신호는 "MA Database"에 특정 플래그를 주기적으로 검사하는 방법을 사용한다. 이 플래그가 온 (Flag On)되면 다음 단계를 진행하게 된다. 이때 현물시장모의를 하는 동안 데이터의 오동작을 방지하기 위해 모든 웹 사이트와 기타 제공되는 프로그램을 사용하여 데이터베이스에 접근할 수 없도록 하였다.
- 2) 현물시장 모의시작 신호가 들어오면 우선 데이터베이스에서 모의할 계통에 대한 정보를 읽어 온다.

- 3) 입찰 정보를 읽어 온다.
- 4) 입찰 정보를 토대로 MCP를 구한다. MCP는 전력 구매자와 전력판매자의 입찰 데이터를 이용하여 결정되며, 본 시뮬레이터에서는 입찰 데이터를 조개서 전력 판매자의 경우 가격이 제일 낮은 데이터를 먼저 쌓고 전력 구매자의 경우 가격이 제일 높은 데이터를 먼저 쌓아 판매와 구매에 따른 가격이 교차되는 부분에서 MCP를 얻어낸다.

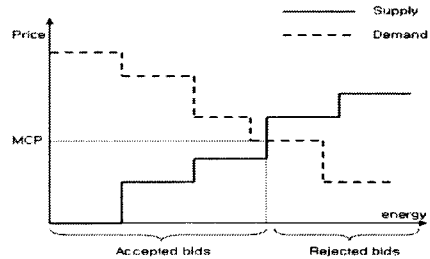


그림 3 MCP를 구하는 방법
Fig. 3 A method of setting the MCP

- 5) 본 연구에서 개발한 교육용 현물시장모의 전산모형에서는 Constraint On/Off 모의도 해 볼 수 있으며 시장모의 설정에 따라 Constraint On/Off 모의를 할 수도 있다. Constraint On과 Off를 구하는 방법은 MCP를 구하는 방법과 유사하며 단지 입찰 물량을 쌓아 가는 동안 각 지역에서의 물량을 산출하고 각 선로에 미치는 영향을 계산하여 제약에 해당하는 물량을 구하게 된다. 이때 각 선로에 흐르는 조류의 양은 DC 조류계산을 통하여 계산하게 된다.
- 6) 모의의 결과를 데이터베이스에 저장한다.
- 7) 설정에 따라 모의 횟수가 다 될 때까지 2)에서 6)을 반복한다.
- 8) 모두 끝나게 되면 다시 1)상태에서 대기하게 된다.

3. 사례연구

표 1 발전기 정보 데이터
Table 1 The data of generators

Name	Region	P_max	P_min	a	b	c
Gen 1	5	197	68.95	0.00259	23	259.131
Gen 2	4	155	54.25	0.00481	10.7367	14273.48
Gen 3	6	100	25	0.00623	18	217.8952
Gen 4	3	76	15.2	0.00962	13.5073	91.8259
Gen 5	2	20	4	0.01564	37.9637	118.9083
Gen 6	1	12	2.4	0.02533	25.5473	24.3891

Constraint On/Off를 고려한 시스템의 결과를 알아보기 위하여 현재 우리나라 시스템과 비슷하게 6개의 지역으로 나누어 예제 시스템을 만들었다. 결과 데이터의 검증에 위해 IEEE Reliability Test System에서 제시하는 발전기 32대 중 고르게 6개를 선택하여 그림과 같이 지역마다 하나씩 배치하였다. 그 구체적인 데이터는 표 1에 나타났다. 결과 검증을 위해 표 1의 데이터를 기초로 하여 증분비용을 도출해 입찰 데이터로 사용하였다.

3.1 제약이 없을 때의 결과

선로의 제약을 고려하지 않았을 때 MCP는 그림 4와 같았다.

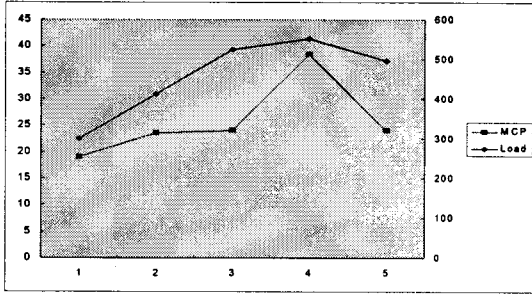


그림 5 MCP 결과
Fig 5 The result of MCP

3.2 제약에서의 결과

Constraint On/Off 테스트를 위해서 모든 선로의 제약을 20MW로 제한하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5와 6을 통해 3번 지역에 있는 발전기의 물량이 한 단위 감소하고 1번 지역과 2번 지역의 발전기가 몇 단위 컸음을 확인할 수 있다.

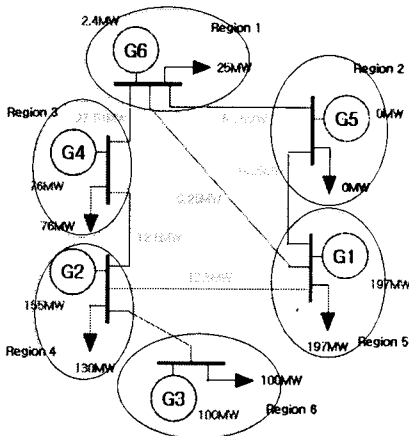


그림 5 비제약에서의 시뮬레이션 결과
Fig 5 The result of the unconstraint simulation

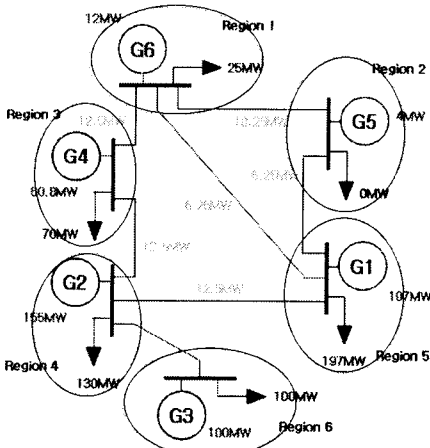


그림 6 제약에서의 시뮬레이션 결과
Fig 6 The result of the constraint simulation

4. 결론

본 연구에서 개발한 교육용 현물시장 모의 전산모형은 기존에 교육용 전력 시장 전산모형이 학습자에게 시스템 운영자의 역할을 주어 혼자서 모두 모의해 볼 수 있게 만든 것과는 달리 학습자에게 실제 시장과 비슷한 모형을 만들어 주어 실제 입찰하듯이 사용할 수 있게 만들어 졌다. 따라서 이 전산모형을 통해 학습자들은 실제 시장이 어떻게 돌아가고 시장에 참여하는 사람들은 어떤 방법을 통해 얼마만큼의 수익을 받는지 직접 체험할 수 있을 것이다.

또한 다른 학습자와의 경쟁은 전력 계통관련 분야나 전력 시장 분야에 대한 학습동기를 유발할 수 있을 것이다. 시장에 참여자들은 각자의 발전기가 할당이 되고 이 발전기를 사용한 입찰 데이터에 따라 학습자들은 저마다의 수익을 얻게 될 것이다. 특히 Constraint On/Off에 따른 보상은 지역과 전송선로 한계에 따라 어떤 발전기는 적절한 수익을 어떤 발전기는 기대에 못 미치는 수익을 얻게 될 것이다. 이러한 시장 참여자들 마다 달라지는 수익은 학습자들에게 경쟁을 유발하게 된다. 이러한 경쟁을 통해 학습자들은 스스로 그 분야에 대한 학습을 하게 될 동기를 얻을 수 있을 것이다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원사업으로 수행된 논문입니다.

[참고 문헌]

- [1] M. Shahidehpour, M. Alomoush, Restructured Electrical Power Systems, Marcel Dekker Inc., 2001.
- [2] S. Stoft, Power System Economics, IEEE Press, 2002.
- [3] M. Dicorato, A. Minoia, R. Sbrizzai, and M. Trovato, "A simulation tool for studying the day-ahead energy market: the case of Italy," in *Proc. Power Eng. Soc. Winter Meeting, 2002*, vol. 1, 2002, pp. 89-94.
- [4] D. W. Bunn and F. S. Oliveira, "Agent-based simulation-an application to the new electricity trading arrangements of England and Wales," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 5, pp. 493-503, Oct. 2001.
- [5] J. J. González and P. Basagoiti, "Spanish power exchange and information system design concepts and operating experience," in *Proc. IEEE 21st Int. Conf. Power Industry Comput. Applicat. PICA* Santa Clara, CA, May 1999, pp. 245-252.
- [6] M. Madrigal, M. Flores, "Integrated Software Platform to Teach Different Electricity Spot Market Architectures", *IEEE Trans. on Power System*, Vol. 19, No. 1, pp. 88-95, Feb. 2004.
- [7] D. Paravan, A. Sajin, R. Golob, "Teaching trading electricity with the use of electricity market simulator," in *Proc. Power Tech. Conf. 2003 IEEE Bologna*, Vol. 3, pp. 23-26, June 2003.
- [8] J. Contreras, A. J. Conejo, S. de la Torre, and M. G. Munoz, "Power engineering lab: electricity market simulator," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, pp. 223-228, May 2002.
- [9] 양광민, 이기승, 박종배, 신중민, "교육용 전력조류계산 프로그램의 웹 서비스를 위한 시스템 구성 및 데이터 재가공 방법론 개발(Development of System Architecture and Method to Reprocess Data for Web Service of Educational Power Flow Program)", *대한전기학회 전기학회지 A권*, vol. 6, pp. 324~333, 2004.06