

한국형 Market Simulator(PEXSIM) 개발(III)

허진강 동주정 해성이 정호문 영환
한국전기연구원

Development of Korean Market Simulator(PEXSIM) (III)

Hur Jin Kang Dong-Joo Jung Hae-Sung Lee Jeong-Ho Moon Young-Hwan
Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

Abstract - At present, the Korean electricity industry is undergoing restructuring and the CBP market is being operated preparing for TWBP market open. As the circumstance of the traditional system is changed according to power system deregulation, the unique market simulator is needed to analyze and study an electricity market. In this paper, we implement the main two modules of unique market simulator(PEXSIM) and introduce the characteristics of PEXSIM focused on the M-SIM and P-SIM.

1. 서론

우리나라 전력산업 구조개편은 현재와 같은 '발전경쟁 단계'를 거쳐 최종적으로 '도·소매경쟁단계'를 지향하고 있다. 현재 양방향입찰시장인 TWBP(Two Way Bidding Pool) 개설을 위해 과도기적인 변동비반영시장인 CBP(Cost Based Pool)를 운영하고 있다. 이러한 환경적 변화에 따라 기존의 전력계통과 시장(market)의 경제학적인 개념을 도입하여 전력시장(Electricity Market) 모의 및 해석을 수행하여야 한다. 전력시장 모의, 해석 그리고 평가 기술의 개념은 기본적으로 전력시장 모델링 및 데이터베이스(DB) 설계로 출발한다. 전력시장의 모델링은 입출력 데이터로 표현되며 입출력 DB를 이용하여 시장모형을 구성하고 모의해석을 위한 시나리오를 작성하여 시장시뮬레이터의 알고리즘에 따라 시뮬레이션이 수행된다. 이렇듯 급변하는 환경적 변화에 따라 전력시장을 모델링하고 다양한 시나리오에 따른 시장시뮬레이션의 기술도입은 필수적이며 매우 중요하다. 일반적으로 시장시뮬레이션의 요소기술은 수요와 가격예측 기술, 기동정지계획 및 급전운영 계획을 포함한 운전계획수립 기술, 송전혼잡해석 기술 그리고 최적의 입찰전략 수립을 위한 게이밍(Gaming) 분석 기술 등으로 요약할 수 있다. 이러한 요소기술을 기반으로 시장시뮬레이션을 수행할 수 있는 툴(tool)을 시장시뮬레이터(Market simulator)라 정의할 수 있다. 이미 구조개편이 진행되어 나가는 시장시뮬레이터를 도입하여 자국의 시장운영 분석 및 평가에 활용하고 있다. 대표적인 시장시뮬레이터로는 PLEXOS(호주), GE-MAPS(미국), PROSYM(미국) 그리고 POMAX(노르웨이) 등이 있다. 하지만, 국내시장 모의를 위해 외국의 상용화된 프로그램을 도입할 경우에는 국내 시장모형 개발을 위한 customization 작업이 필수적이며 국내 시장규칙을 반영해야 하는 한계를 가지게 된다. 본 연구원에서는 전력시장 해석을 위한 시뮬레이션 기술 확보와 국내 시장규칙에 적합하고 국내시장 모형을 설계할 수 있는 시장시뮬레이터를 작년부터 개발에 착수하였다. 이미 시장시뮬레이션 기술 분석 및 고유의 시장시뮬레이터의 기반설계[1, 2]를 완료하였고 현재 고유의 시장시뮬레이터의 여러 모듈 중 일부 모듈의 구현작업을 진행하고 있다. 본 연구원에서 개발 중인 시장시뮬레이터는 PEXSIM(Power EXchange SIMulator)으로 마이크로소프트(MS)의 닷넷(.NET Framework)을 기반으로

Access DB를 입출력으로 구성하고 시장모델링 모듈(M-SIM), 시장가격산정 모듈(P-SIM), 운전계획모듈(O-SIM), 송전혼잡해석 모듈(T-SIM) 그리고 입찰전략 모듈(G-SIM)을 핵심 엔진으로 구성하고 있다.

본 논문에서는 PEXSIM을 구성하는 주요 모듈 중에서 가격결정 메카니즘이 구현된 P-SIM과 시장 DB의 모델링이 구현된 M-SIM을 중심으로 기술한다. 실제 PEXSIM에 구현된 P-SIM과 M-SIM의 구성원리와 구현 알고리즘의 제시를 통해 시장시뮬레이터의 의미와 시뮬레이션에 대한 유용성을 설명하고자 한다.

2. PEXSIM 개요

한국형 시장시뮬레이터의 의미는 국내 시장규칙을 잘 반영하고 국내시장 모형을 구현하는 것으로 본 연구원에서는 PEXSIM 개발을 진행 중에 있다. 시장시뮬레이터의 요소기술 분석과 입출력 DB 분석에 따라 PEXSIM의 기본구조와 기반설계 모형을 그림 1과 같다.

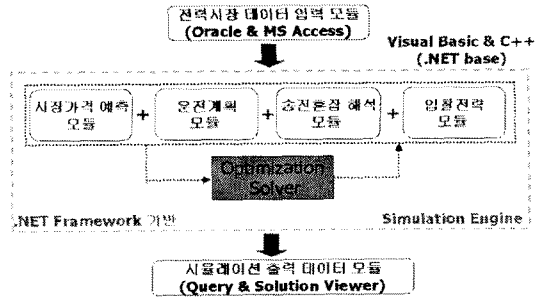


그림 1. PEXSIM의 기본구조

PEXSIM의 기본구조는 5개의 주요 모듈로 구성된다. 주요 모듈은 전력시장 입출력 DB를 관리하는 M-SIM, 단일가격(uniform price) 기반으로 시장가격을 산정하고 예측하는 P-SIM, 기동정지계획과 경제급전을 담당하는 O-SIM, 송전혼잡해석 등을 수행하는 T-SIM 그리고 각 시장참여자의 입찰전략을 수립하는 G-SIM으로 구성된다. PEXSIM의 동작원리는 M-SIM 모듈에서 입력받은 DB를 모델링하고 시장시뮬레이션을 위한 시나리오 작성에 따라 시뮬레이션 엔진모듈이 수행된다. 각각의 엔진모듈이 수행 될 때는 최적화 과정은 최적화 툴(solver)을 통해서 상호 결과를 인터페이스 하게 된다. 시뮬레이션 결과는 다시 M-SIM을 통하여 Access DB 형태의 데이터 포맷과 사용자 기호에 맞는 그래픽 형태로 제공되어 시장시뮬레이션 결과 해석을 수행할 수 있다. PEXSIM의 개발환경 및 기본사양은 표 1과 같다. PEXSIM은 운영환경 측면에서 닷넷(dot NET)이란 플랫폼을 기반으로 동작하도록 설계되어 있다. NET 프레임워크의 구조는 상당히 복잡하게 구성되어 있지만 .NET 프레임워크를 구성하는 중요한 요소는 공용언어

런타임(CRL)과 .NET 프레임 클래스 라이브러리이다. 이 두 요소는 일관성 있는 객체지향 프로그램 환경, 코드 실행 환경의 개선, 업계 표준을 통해 다른 코드와 .NET 프레임워크에서 실행되는 코드와의 원활한 통신을 목적으로 .NET 프레임워크에서 도입한 개념이다. 이러한 개념을 바탕으로 PEXSIM 개발에 .NET 프레임워크가 적용되었고 기존의 운영환경보다 빠른 속도로 시장데이터의 처리와 시뮬레이션이 가능하다. 또한 향후 계속적인 프로그램의 업그레이드에도 쉽게 활용될 수 있다.[3]

표 1. PEXSIM 개발환경 및 기본사양

PEXSIM	개발환경
운영환경(OS)	Window 32 bit system
입출력 DB(I/O DB)	Microsoft(MS) Access DB
최적화 프로그램 (Optimization solver)	MOSEK v2.5
Platform	MS .NET Framework
개발 언어(language)	Visual Basic .NET

3. PEXSIM의 핵심 모듈

3.1 M-SIM(시장모델링 모듈)

M-SIM의 주요기능은 입출력 DB의 처리와 입력된 DB를 이용하여 시장모델링을 구현할 수 있다. PEXSIM은 기본적으로 객체(Object) 기반의 프로그램으로 전력시장의 구성요소를 설정하고 각 객체에 입력된 변수를 통해 모델링을 구현할 수 있다. 또한 PEXSIM은 데이터-구동방식(data-driven type)으로 구현되어 있어 시장모델링은 데이터의 입력을 통해 각 객체의 요소를 구현한다는 의미이다. PEXSIM에 적용된 Access DB는 모든 데이터들을 테이블과 같은 형태로 나타내어 저장하는 관계형 데이터베이스(RDB)이다. DB의 구조가 표 형태를 갖기 때문에 전력시장을 구성하는 주요 객체인 Regions, Nodes, Companies, Generators, Purchasers, Lines, Fuels, 그리고 Reserves의 상위 개념의 객체가 설정되고 각각의 객체에 하위 객체와 클래스가 존재하여 입력데이터를 구성한다. PEXSIM에 구현된 DB의 연결도를 그림 2에 나타내었다.

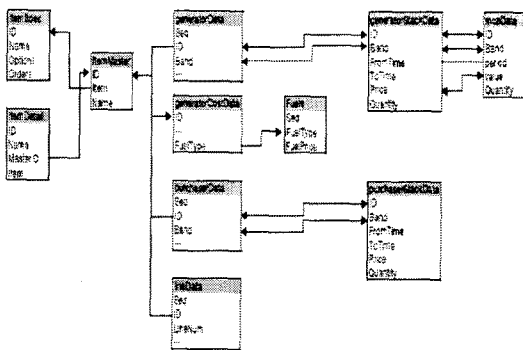


그림 2. PEXSIM의 DB 연결도

그림 2에서 ItemSpec은 발전기, 부하, 예비력, 송전선로 등과 같은 객체의 이름과 정렬순서를 정의하고 ItemMaster에서 각 Item들의 Entity를 정의한다. 발전기의 경우 실제 데이터 입력은 generatorData와 generatorCostData에서 처리된다. 그림 2에서 결과에 해당하는 부분은 발전기와 전력구매자의 G.StackData 부분과 시장가격을 의미하는 G.mcpData 부분이 결과 데이터가 저장되는 부분으로 구성되어 있다.

3.2 P-SIM(가격결정 모듈)

시장가격산정 및 예측 모듈인 P-SIM은 시장시뮬레이션에서 가장 핵심 모듈이다. PEXSIM에 구현된 가격산정 메카니즘은 크게 3가지로 나누어 생각할 수 있고 표 2에 나타내었다.

표 2. 가격산정 메카니즘

No.	기본 입력데이터(Input Properties)	
	발전사업자(공급측)	전력구매자(수요측)
M1	공급입찰(Offer data)	수요예측데이터
M2	공급입찰(Offer data)	구매입찰(Bid data)
M3	발전비용 데이터	수요예측데이터

방법 M1의 경우, 발전사업자의 입찰데이터와 수요예측데이터를 이용하여 시장가격(MCP)을 결정한다. 우선 다수의 발전사업자는 거래일 전에 10 대역(Band)의 가격과 용량 세트를 입찰데이터로 작성하여 제출하게 된다. 제출된 모든 발전사업자의 입찰데이터를 정렬하여 스택을 쌓고 전체적인 스택곡선을 만들게 된다. 그림 3에 M1 방법의 가격결정 메카니즘을 나타내었다. 그림 3에서 Supply에 해당하는 곡선이 전체 입찰데이터가 누적된 스택곡선을 알 수 있다. 수요 측면에서는 입찰데이터가 아닌 수요예측데이터를 이용하여 교차점을 찾아 MCP를 결정하게 된다.

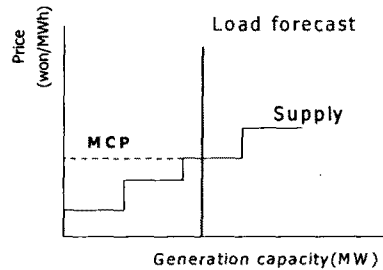


그림 3. M1 메카니즘을 이용한 가격결정

방법 2M의 경우, 발전사업자와 전력구매자의 입찰데이터를 이용하여 가격을 결정하는 방법으로 이는 TWBP 시장의 가격결정 방법이라 할 수 있다. 시장가격예측을 위한 가격결정 메카니즘은 그림 4와 같다.

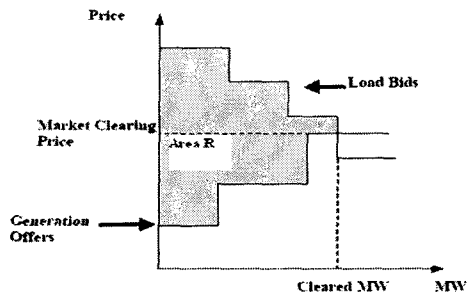


그림 4. M2 메카니즘을 적용한 가격결정

그림 4에서 볼 수 있듯이 전력공급자의 입찰곡선과 전력구매자의 입찰곡선의 교차점이 MCP로 결정된다. M2의 방법을 구현하기 위해 급전-가격 모델을 선형화(LP) 문제로 구성하여 시장가격을 계산할 수 있다. PEXSIM의 급전-가격 모델에 적용된 알고리즘은 그림 4의 음영 부분에 해당하는 'Area R' 영역(부가가치-발전가치)을 최대화 하는 것을 목적함수로 보조서비스 제약과 계통제

약을 제약조건으로 문제를 구성한다. 급전-가격 선형화 모델을 이용하여 TWBP 시장규칙에 따라 제약급전계획, 비계약급전계획 그리고 가상적급전계획을 산정할 수 있고 시장가격결정은 비계약급전계획에 따라 수행되며 에너지와 보조서비스를 함께 최적화 시키는 동시최적화(co-optimization)를 수행하여 시장가격을 결정한다.

방법 3M의 경우, 발전사업자의 개별 발전기 비용함수와 수요예측 데이터를 이용하여 가격을 산출할 수 있다. 일반적으로 비용함수는 2차 함수의 형태로 주어지기 때문에 PEXSIM에 구현된 알고리즘에서는 10개의 부분선형화(piecewise linear)를 이용해서 수행한다. 발전비용에 필요한 입력데이터는 발전기 용량의 최대/최소, 열계수(Heat Rate), 연료단가(Fuel Price) 그리고 발전비용을 제외한 변동비(VO&M)를 사용한다. 이러한 입력데이터를 이용하여 모든 발전기에 대한 선형화 구간을 계산하고 발전비용(Gen_cost) 기준으로 정렬(낮은 순부터)하여 스택을 쌓은 후 수요예측 데이터와 교차하여 가격을 결정한다. CBP 시장의 경우 발전비용에 따른 스택(Stack) 곡선을 그림 5에 나타내었고 PEXSIM에 동등하게 적용되어 스택곡선을 산출할 수 있다.

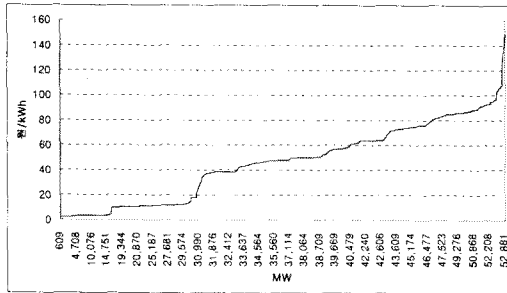


그림 5. 발전비용에 따른 스택곡선 결과

4. PEXSIM의 구현

일반적으로 시장시뮬레이터는 사용하기에 어렵다는 평가와 입력 DB의 종류와 구성이 복잡하다는 분석이 많이 제기되고 있다. 이러한 문제를 고려하여 PEXSIM의 구현은 기본적으로 알고리즘의 정확성과 함께 사용자 편의성을 고려하여 시장 DB 입력, 모델링, 알고리즘 선택 그리고 시뮬레이션 결과 분석의 흐름에 따라 전체적인 프로그램을 구성하도록 설계되었다. 전체적인 PEXSIM의 기본적인 형태를 그림 6에 나타내었다.

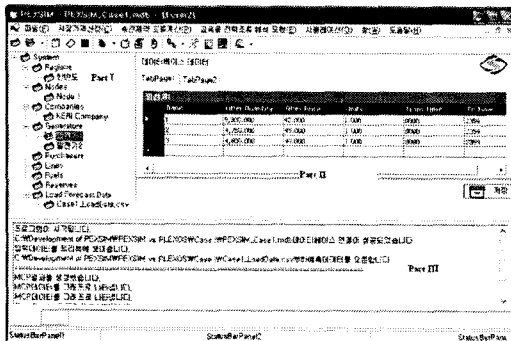


그림 6. PEXSIM의 기본 구성

그림 6에서 Part I에 해당하는 부분은 M-SIM에 해당하는 모듈로 입력 DB를 전역시장 요소 또는 객체로 분류하여 해당 데이터를 입력하고 모델링이 수행된다. 그

림에서 볼 듯이 객체의 구성은 탐색기 형태로 되어 있어 세부항목을 추가적으로 설정할 수 있도록 설계되어 있다. Part II의 부분은 실질적인 데이터가 표시되는 영역으로 Access DB 형태를 나타내고 있다. 데이터 영역의 기준 필드(Field)는 각 객체의 세부 입력데이터 항목을 나타낸다. 마지막으로 Part III의 부분은 시뮬레이터에 입력, 시뮬레이션 프로세스, 결과 등의 일련의 과정을 모두 보여준다. 또한 입력과 시뮬레이션 중간에 오류가 발생하였을 경우 해당 메시지를 분석하여 오류 수정 후 다시 시뮬레이션이 가능하도록 설계되었다.

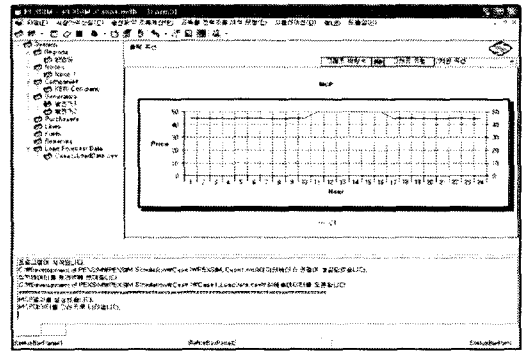


그림 7. MCP 출력 그림(PEXSIM 결과)

그림 7은 P-SIM을 수행한 결과를 나타낸다. 그림 7의 결과는 가격결정 메커니즘의 M1 방법을 적용한 것으로 그림 7과 같이 그래프 볼 수 있고 데이터 출력형태로 볼 수 있다. 수요예측데이터의 경우 입력 시 CSV 파일 형태로 입력되고 또한 모든 출력 결과는 동일한 CSV 포맷을 이용하여 출력파일을 생성하여 다양한 분석에 활용될 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 국내시장 규칙을 반영한 시뮬레이터로 PEXSIM의 주요 모듈 중에서 시장모델링을 수행하는 M-SIM 그리고 가격결정 메커니즘이 구현된 P-SIM을 중심으로 개념과 적용용 기술을 기술하였다. 현재 기본적인 시뮬레이터 프레임 설계가 완료되었고 일부 모듈의 구현이 진행되고 있으며 내년에 시제품 개발을 목표로 연구가 계속 진행될 예정이다. 향후에 진행될 작업은 송전혼잡을 해석하는 T-SIM, 운전계획과 관련된 O-SIM 그리고 입찰전략 수립을 위한 G-SIM 개발을 완료하여 전체적인 PEXSIM을 완료할 계획이다.

PEXSIM 개발은 기본적으로 시뮬레이터 개발에 큰 목적이 있지만 시뮬레이터 개발과 더불어 시장시뮬레이션 기술의 확보와 시장데이터베이스의 구축도 함께 수행하는 것이 중요하다. 한국형 시뮬레이터인 PEXSIM의 개발로 다양한 시장시나리오에 대한 시장모의 및 분석을 통하여 정책개발 및 시장규칙 개선에 활용할 수 있으며 시장참여자에게 입찰전략에 따른 이익증대와 교육수단으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

[참고 문헌]

- [1] 허진, 강동주, 국경수, 김태현, 이정호, 문영환, "한국형 Market simulator 개발(I)", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, Vol. 1, pp.108-110, 2002
- [2] 허진, 강동주, 국경수, 김태현, 이정호, 문영환, "한국형 Market simulator 개발(II)", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, pp.665-657, 2003
- [3] 박봉수, "VB.NET 데이터베이스 프로그래밍", GM 출판사, G-123, 2003