

전력시장가격 예측을 위한 구조적 모델링

강동주*, 정해성*, 허진*, 김태현*, 문영환*, 정구형**, 김발호**
한국전기연구원*, 홍익대학교**

Structural Model of Electricity Market for Forecasting the Market Price

Dong-Joo Kang, Hae-Sung Jung, Jin Hur, Tae-Hyun Kim, Young-Hwan Moon, Ku-Hyung Jung, Balho.H Kim
KERI, Hongik Univ.

Abstract - 현재 원가반영발전경쟁시장(CBP : Cost Based Pool)에서는 발전사업자의 변동비용에 기초하여 공급곡선을 형성하게 된다. 그래서 공급 곡선에 있어서는 비교적 불확실성이 덜하다고 할 수 있다. 그러나 양방향입찰시장에서의 가격결정은 발전사업자와 전력구매자의 입찰데이터(bidding data)로 결정되므로 불확실성의 정도가 매우 심해진다. 즉 가격결정에 있어서 입찰 데이터는 매우 중요하며 입찰전략에 따라 사업자의 수익이 달라지기 때문이다. 또한 수직통합체제 때와는 달리 설비용량의 증설도 계통의 부하를 충족시키기 위해서가 아니라 각 발전사업자의 수익성을 고려하여 수행된다. 따라서 중장기적으로는 설비용량계획의 불확실성이 존재하고 단기적으로는 각 발전사업자의 수익 극대화를 위한 입찰 전략에 있어서의 불확실성이 존재하게 된다. 이와 같은 상황에서는 과거의 역사적 데이터를 바탕으로 해당 시장에서 발전사업자들의 행태를 분석하는 실증적 분석(empirical analysis)이 가장 설득력이 있지만 현재 우리나라의 전력 시장은 CBP 체제이고 TWBP 시장은 열리지도 않았기 때문에 축적된 데이터는 전무하다. 이러한 현실적 여건 때문에 불확실성의 정도는 더욱 심해지고 TWBP 시장에서의 가격을 예측하는 과정에서 어려움이 더욱 커지게 된다. 따라서 본 연구에서는 가능한 다양한 해외 연구 사례를 참조하여 시장에서의 발전사업자 중장기적(설비), 단기적(입찰전략) 행위를 어떤 식으로 모델링하고 시장가격과 어떤 식으로 연결되는지를 분석해보고자 한다.

1. 서 론

전력가격을 예측하는 최근의 기술은 현재 시점에서 시장에서 전력회사들이 사용하고 있고 개발되어온 방식과 거의 유사점을 가지고 있지 않다. 지금까지의 방식은 과거의 데이터를 바탕으로 통계적인 추세선을 형성하는 방식이었다. 그러나 이러한 방법은 시장가격에 영향을 미치는 다양한 인자들과 시장가격 간의 함수 관계를 알 수 없고 따라서 정책적 변화 등과 같은 예상치 못한 변수가 발생할 경우나 특수한 상황에 대해 예측할 경우에는 한계점을 가지고 있다. 따라서 시장가격을 예측하기 위해, 전력회사 및 에너지 거래업체 및 도매업자들은 어쩔 수 없이 결코 쉽지 않은 전력시장 모델링 작업에 노력할 수밖에 없다. 가격예측은 점차 시장참여자에게 필수적인 동시에, 오늘날 사용되고 있는 다양한 접근방법 만큼이나 어려운 작업이 되고 있다. 전력산업이 독점 체제에 있는 기간 동안에는 전력가격이 규제자에 의해 정해졌기 때문에, 전력회사가 있어서 가장 중요한 작업 중의 하나는 그들의 연료비용을 예측하는 것이었다. 그러나 전력시장이 도입됨에 따라 전기가격은 상승하거나 하락할 수 있게 되었다. 전력시장가격이 어떻게 될지를 예측하는데 있어서 핵심 요소는 전력시장가격에 영향을 주는 동인들과 관련한 불확실성 및 가정들에 대해 이해하는 것이라 할 수 있다. 시장가격에 영향을 주는 주요 시장 동인은 입력값으로 사용될 수도 있고 예측 모델에 의해

예측될 수도 있다. 전력시장가격을 예측하는 것은 선행된 부하예측에 근거하여 이루어지는 경향이 있고 부하예측보다 훨씬 많은 인자와 그러한 인자들 간 복잡한 상호관계를 가지기 때문에 더욱 복잡한 작업이라 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 전력시장가격정보의 수요자

발전설비개발업자, 발전사업자, 투자자, 에너지 거래업자, 시장 및 계통운영자 등이 전력시장가격의 동향에 대한 구체적 정보를 얻고자 하는 수요자들로 간주될 수 있는데, 그들의 전략이나 이익, 향후의 정책 방향이 전력시장가격에 의해 좌우되기 때문이다. 그러나 그 외에도 전력시장가격에 관심이 있는 시장참여자들이 존재하며 신용평가기관, 부하공급사업자, 송전망운영자 및 소비자 등이 있을 수 있다. 신용평가기관의 경우 전력가격의 변동성이나 위험에 노출되는 다양한 참여자들을 관측하는데 필요하며, 부하공급사업자의 경우 그들의 소비자들이 사용하게 될 예상 전력소비량을 산출하기 위해서도 필요하다. 전력가격은 시장참여자의 현금 흐름(cash flow)이나 소비자의 전력소비량에 큰 영향을 주는 요소이기 때문이다. 신뢰할 만한 수요예측정보를 구비할 경우 발전사업자 및 소매사업자들은 단기 및 장기계약을 통한 다양한 공급방법을 이용해 최적의 전략을 수립할 수 있게 된다. 송전망 소비자 및 운영자의 경우 지역별 전기 가격 차이를 통해 지역 간 타송 거래되는 전력량을 전망할 수 있다. 지역 내의 가격 및 수요 예측 또한 송전망 운영자로 하여금 급전에 대한 특정 수준 및 유형을 예측하고 준비할 수 있도록 만들어 준다. 대규모 산업수용자들은 가격 변동성에 대한 자신들의 위험 노출 정도를 평가할 필요가 있다. 신뢰할 만한 예측정보가 있을 경우, 각 당사자들은 장기계약, 고정가격계약, 수요반응 프로그램 참여, 시간별 요금(time-of-day pricing), 차단 가능부하(interruptible load) 프로그램 등과 같은 수단을 활용하여 위험을 헷징할 수 있다. 모든 시장참여자에게 있어서 잘 예측된 정보를 가진다는 것은 매우 중요한 사안이며, 예측이 전혀 없는 경우보다 공급 및 수요량에 근거한 예측이 이루어지는 경우에 보다 시장이 효율적으로 운영된다고 판단되고 있다.

2.2 해외의 전력시장가격예측 기법

과거 도매전력의 가격을 예측하는 것은 비록 세밀한 작업이 요구되기는 했지만 그다지 복잡한 작업은 아니었다. 전력시장이 엄격한 규제상태에 있었을 때는 전력가격을 예측하기 위한 핵심 작업은 해당 지역 내에서의 공급과 수요의 스택을 쌓아서 균형점을 찾는 것이었으며, 주로 지역별 전력수요와 가용 용량에 근거하여 수행되었다. 미래 전력수요를 예측함에 있어서는 과거부터 지금까지의 역사적 데이터와 계절지수를 고려하여 통계적으

로 추정되었으며, 공급의 경우는 지역적으로 가용한 발전설비와 향후 건설예정인 설비를 가변비용 순으로 쌓아 공급곡선을 형성하는 방식이었다. 안정적인 시장구조, 엄격한 규제, 다양한 연방에너지규제위원회(FERC)의 지침에 따른 정보의 완전공개, 타 전력회사들과의 협조적인 설비증설 계획수립 등을 통하여 전력가격은 매시간 단위로 비교적 정확하게 예측되었다. 엄격한 규제체계 하의 전력시장에서는 지역 내 발전기들의 변동비에 근거하여 스택을 쌓았기 때문에 비교적 용이하게 공급곡선을 생성하고 전력가격예측 모델에 반영하여 비교적 정확한 결과를 예측할 수 있었다. PJM 전력시장의 경우, 이와 같은 급전 패턴은 각 발전기에 부과하기 위한 송전용량요금(capacity charge) 산정에도 적용되었다.

미국의 경우 GE MAPS 및 PROSYM과 같은 상용 전력시장 시뮬레이터가 개발되었는데 이들 모델 역시 발전비용에 근거한 급전 모델을 채택하였다. 이러한 모델들은 1시간 단위로 전력가격을 예측할 수 있는 기능을 가지고 있었고, 전력가격 및 전력부하의 예측 그리고 발전기별 운전계획 및 다양한 목적들을 수행할 수 있는 기능을 구비하였다. 하지만 이러한 모델들은 매우 광범위하고도 복잡한 데이터베이스를 요구하였고 시뮬레이션을 수행하기 위한 데이터 수집이나 입력을 하는데 소요되는 시간만도 수개월이 소요되었으며 실제로 다양한 시나리오에 근거한 시뮬레이션을 수행함에 있어서도 방대한 데이터와 연산을 수행하기 위해 수 시간에서 수일 단위의 긴 시간이 소요된다. 다국적 컨설팅 회사인 PWC (PriceWaterhouseCooper)의 경영자인 사헤이는 다음과 같은 의견을 제안하였다. 유동성이 약하고 장기 전력거래가 이루어지지 않는 시장에서는 공급과 수요의 구조적 동인(물리적 발전 및 송전 설비)에 근거하여 분석하는 방법을 이용하는 근본적 접근법이 필요하며, 단기적이고 유동적인 시장에서는 현재 시장에서 거래되고 있는 물량을 통해 시장가격을 예측하는 방법이 가능하다는 것이다. 이와 같이 형성된 가격 정보가 선도곡선을 형성하게 되며, 이는 재부가치평가에서 가장 중요한 요소로서 고려되고 있다. 두 가지 방법 중 가장 중요한 차이점은 그러한 가격 정보를 상기한 구조적인 모델로부터 얻느냐 아니면 관찰 가능한 거래에서 얻느냐는 것이다.

들의 상관관계에 의해 향후 시장가격을 예측하는 것이다. 기존의 독점계통에서 전력수요의 예측을 위해 사용한 퍼지나 카오스와 같은 방법들이 이에 속한다. 또한 주식시장 등의 파생상품시장에서 가격예측을 위해 사용한 블랙숄즈(Black-Scholes) 모델 등도 역시 이에 속한다. 둘째는 시뮬레이션 모델로 이는 향후 전력시장의 설비의 변화와 수요를 예상하고 전력시장의 시장가격결정 메카니즘을 이용하여 향후 전력시장의 가격을 예측하는 방법이다.

통계적 모델은 그 구현이 시뮬레이션 모델에 비해 비교적 간단하다고 할 수 있다. 물론 통계적 모델을 정확하게 구현하기 위해서는 긴 시간을 요하는 다양한 자료의 처리와 반복적인 작업을 통한 적절한 계수들의 산정이 요구되며 이는 분명히 쉽지 않은 일이다. 그러나 기본적으로 과거의 데이터를 이용해 미래의 가격을 예측하는 이러한 기법은 전력수요와 같이 시간별 그리고 일별로 일정한 패턴을 보이는 재화나 파생상품 등에는 좋은 결과를 도출할 수 있다. 그러나 발전설비나 송전설비의 투입에 따라 시장가격이 불연속적으로 변하는 전력시장의 경우 그 적용이 쉽지 않다고 생각된다.

발전설비와 송전망의 변화로 인한 불연속적인 전력계통의 특성을 반영하기 위해서는 이러한 특성들을 고려하여 시장가격을 결정하는 시뮬레이션 방법이 효과적이라고 알려져 있다.

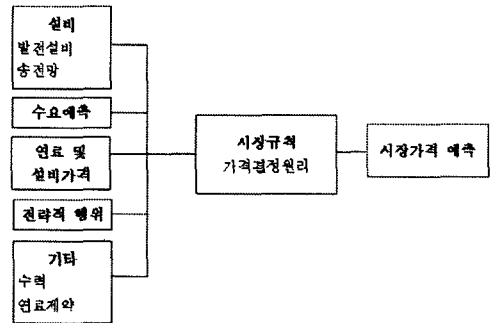


그림 2 전력시장가격에 영향을 미치는 요인들

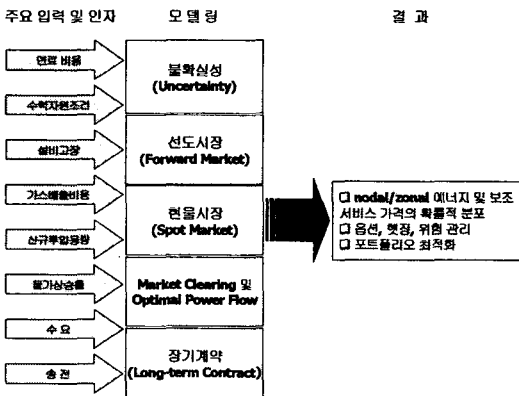


그림 1 전력시장가격에 영향을 미치는 요인

2.3.1 설비

장기수급계획에 기초한 다양한 시나리오와 신규 투입될 발전기의 변동비 수준에 따라 예측된 시장가격은 달라질 수 있다. 그림 3은 장기수급계획에 근거하여 KERI와 CRA가 설정한 수급계획 시나리오에 근거한 설비계획에 따른 변동비 변화를 나타낸 것이다.

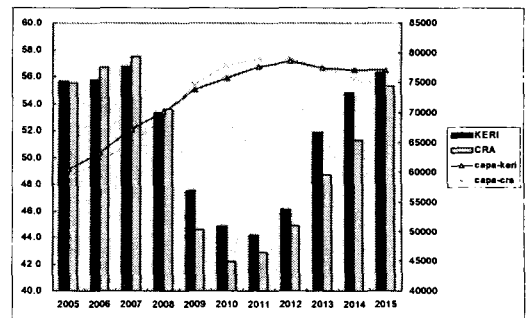


그림 3 설비 및 변동비 시나리오에 따른 변동비 추이

2.3 가격예측을 위한 시장의 구조적 모델 구성

시장가격을 예측하는 기법으로는 크게 두 가지 방법이 있다. 첫째는 통계적 모델이며 이는 시계열수열(time-series)이나 전문가 시스템과 같은 방법을 이용하여 시장가격을 예측하는 기법이다. 즉 시장가격, 연료 가격, 수요예측 등의 다양한 변수들을 종합하여 이 변수

이러한 시나리오에 예측된 전력시장가격은 그림 4와 같다.

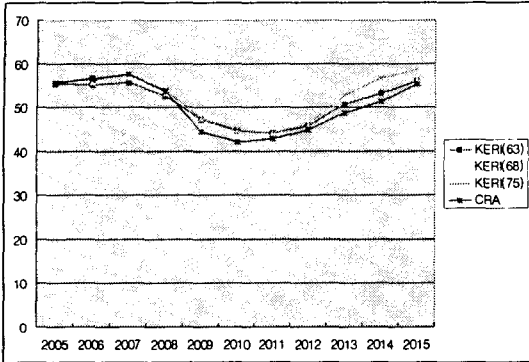


그림 4 설비 및 변동비 시나리오에 따른 시장가격추이

2.3.2 수요예측

2004년 이후의 전력시장 수요는 연도별 총수요를 예측한 전력수급기본계획을 참고하였고 2000년부터 2003년까지의 시간별 수요 데이터를 바탕으로 각 시간대별 계절지수를 산정하여 2004년 이후의 시뮬레이션을 위한 수요 데이터를 생성하였다. 다음은 이렇게 예측된 수요를 연도별로 도식화한 것이다. 이러한 방법 외에도 단순히 이동평균법을 사용한다든지 특성일별 부하예측 유형을 추론한다든지 다양한 방법이 적용될 수 있다.

표 1 2004년에서 2009년까지의 예측수요

GWh	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년
예측수요	299,417	311,393	333,252	352,514	363,732	372,461

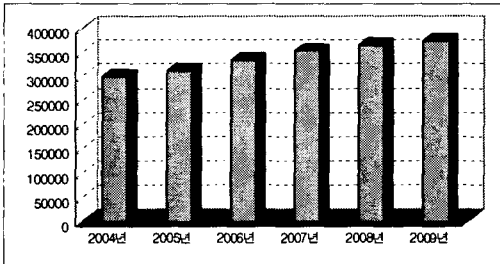


그림 5 전력수요 예측

그림 6은 이렇게 년별로 할당된 전력수요를 상기 언급한 계절 및 시간 지수에 따라 배분하여 시간별 수요를 생성한 것이다.

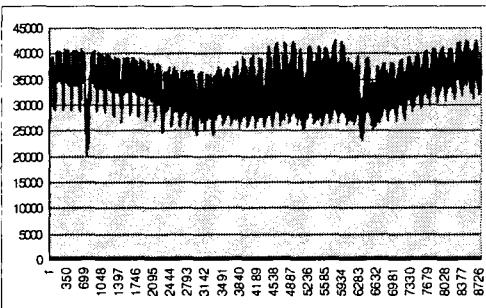


그림 6 2004년 시간별 부하 데이터

2.3.3 연료 및 설비가격

우리나라의 전력공급원으로는 석유, LNG, 석탄, 원자력, 수력 등이 있으며 이들의 1998년도 실적 발전원가를 살펴볼 때 원자력이 33.68원/kWh로 가장 저렴하고 LNG가 113.58원/kWh로 가장 비싼 것으로 나타났다. 우리나라는 화석연료의 거의 대부분을 수입에 의존하고 있기 때문에 환율 및 화석연료의 국제시장가격 변동에 따라 실적발전원가가 크게 달라질 수 있다. 석탄 화력은 유연탄화력(수입연료)과 무연탄화력(국내연료)으로 나누어지며, 가격이 저렴한 유연탄화력발전의 증가로 인해 석탄 화력의 발전원가가 감소하는 추세이다. 석탄 화력은 화력 발전 중 가장 저렴한 실적 발전원가를 기록하고 있으나 발전에 따른 환경문제로 인해 적극적인 도입에는 제약이 있다. 석유화력은 가격의 불확실성과 환경문제로 인해 국가의 장기 전원개발 계획의 고려대상에서 제외되고 있는 실정이다. LNG는 화석연료 중 가장 청정한 에너지원으로 인식되고 있기 때문에 최근에는 이용가치가 부각되고 있다.

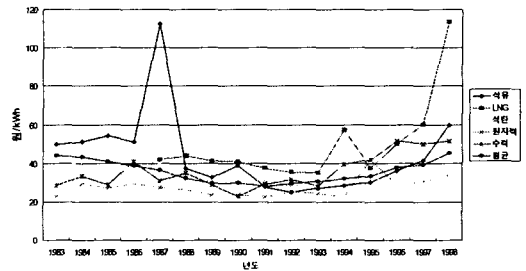


그림 7 연료비의 변동 추이

전원별 경제성 평가 시 단위 발전소의 비용분석은 수명 기간 전체를 대상으로 한 평균화(균등화)발전원가를 사용하는데 할인율, 이용률, 수명기간 등의 가정 설정에 따라 경제성의 우선순위가 달라질 수 있다. 단적인 예로 원자력과 석탄의 경우를 예로 들어본다. 원자력발전은 건설비의 비중이 커서 경수로의 경우 총 평균화 발전원가 중 자본비가 약 70% 정도(이용률 80% 기준)를 차지하는 반면 연료비는 10% 수준 밖에 되지 않는 기술 의존형 발전원으로서, 연료비의 변화가 총 발전원가에 주는 영향이 작기 때문에 에너지원의 국제시장가격 변화에 덜 민감한 발전원이라 할 수 있다. 원자력 발전소 건설기술자립 및 표준화로 인한 건설비용의 지속적인 절감이 예상되어 원자력발전의 경제성이 더욱 향상될 전망이다. 반면, 유연탄 화력발전은 총 평균화 발전원가 중에서 연료비가 35% 정도(이용률 80% 기준)를 차지하기 때문에 연료비의 변화가 발전원가에 큰 영향을 미친다. 우리나라는 소규모의 유연탄 전량을 수입에 의존하고 있기 때문에 해외에서 유연탄 가격변화에 따라 유연탄화력의 발전원가는 크게 달라질 수 있다.

2.3.4 전략적 행위

발전사업자의 전략적 행위는 양방향전력시장에서의 가격을 예측하는데 가장 필수적인 행위이면서도 가장 모델링하기 힘든 부분이라고도 할 수 있겠다. 여기서는 다양한 전략적 입찰 행위 중에서 hockey-stick 전략을 예로 들어 시장가격에 미치는 영향을 분석해 보기로 한다. 발전사업자의 입찰 전략에는 다양한 형태가 있을 수 있고 여기서는 그러한 전략 방법 중의 하나로 입찰가격을 상승시켜 시장가격 상승을 유도하는 경제적 철회(economic withholding) 혹은 hockey-stick 입찰전략에 대해서 고려해 보기로 한다. 각 발전사업자는 모두

CCGT를 주축으로 하는 첨두 발전기를 보유하고 있고 이러한 첨두 발전기의 입찰가격을 자신의 단기한계비용(SRMC) 수준보다 높게 제출할 수 있다. 본 사례연구에서는 각 발전사업자가 보유하고 있는 개별 첨두 발전기 용량의 90%는 SRMC 혹은 합리적인 수준에서 입찰한다고 보고 나머지 10%를 시장상한가격(혹은 VoLL) 값으로 입찰하는 전략을 선택하였을 때 현재의 시장 조건에서 시장가격에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 모의해 보기로 한다. 그림 8은 본 논문에서 예로 들게 되는 기본적인 hockey-stick 전략의 기본적 개념을 도해한 것이다.

[5] 한국전기연구원, 양방향 전력시장에서의 시장지배력 행사 가능성 및 대응방안, 산업자원부, 2003.5.

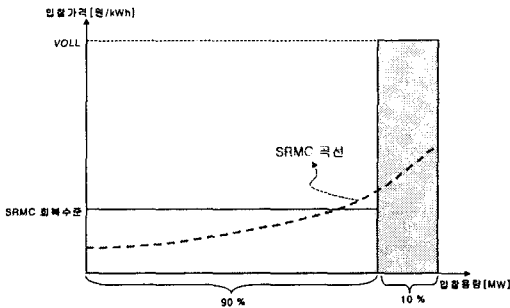


그림 8 Hockey-stick 입찰전략의 개념도

그림 9 이러한 전략적 행위의 한 시나리오에 따라 발생한 시장가격 변화 및 가격 스파이크를 보인 것이다.

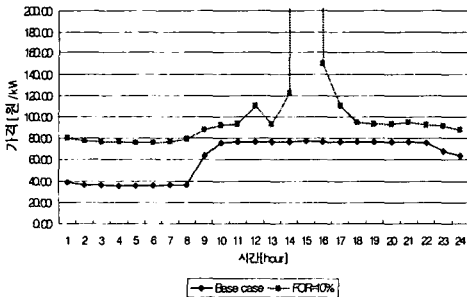


그림 9 전략적 행위에 따른 가격 스파이크

3. 결 론

본 논문에서는 전력시장가격예측의 기본적 방법 및 그 종류에 대해서 분석했으며 그 중의 하나인 구조적 모델링과 시뮬레이션에 의한 시장가격예측기법에 대해 설명하였다. 구조적 모델링은 통계적 예측방법과 달리 시장가격의 정량적 예측보다는 시장가격에 영향을 미치는 다양한 요인들을 정의하고 그러한 요인들과 시장가격 간의 상호관계를 분석하는데 무게를 두고 있다. 향후 연구에서는 이러한 구조적 모델링의 구체적 방법과 그 결과에 대한 분석을 진행하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] Mahammad Shahidepour, "Market Operations in Electric Power Systems", WILEY-INTERSCIENCE, 2002
 [2] Steven Stoft, "Power System Economics", Wiley-Interscience, 2003
 [3] 한국전기연구원, "TWBP 시장에서의 가격상한 설정에 관한 연구", 한국전력거래소, 2003. 10.
 [4] Glenn Drayton, "PLEXOS for Power Systems", www.plexos.info