

이 현 석 교수지도

석사학위청구논문

확률과정을 이용한 전력시장가격 모델링
및 파생상품 설계에 관한 연구

2009.07.

성신여자대학교 금융정보대학원

금융정보학과 금융·보험전공

강 동 주

확률과정을 이용한 전력시장가격 모델링
및 파생상품 설계에 관한 연구

이 현 석 교수지도

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2009년 7월

성신여자대학교 금융정보대학원

금융정보학과 금융·보험전공

강 동 주

인 준 서

강동주의 석사학위 논문으로 인준함.

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

성신여자대학교 금융정보대학원

목 차

논문개요	1
I. 서론	2
II. 전력산업구조개편과 전력시장 체제로의 전이	5
1. 전력산업구조개편 개요	5
2. 규제완화 및 시장체제의 도입	6
3. 해외사례	7
4. 우리나라의 현황	8
III. 전력시장에서의 주요 이슈 및 문제점	10
1. 전력시장의 구조 및 원리	10
2. 전력시장의 특이성 및 제도적 보완	11
IV. 전력시장에서의 전력계통 및 시장운영	14
1. 수직통합체제에서의 통합자원계획	14
2. 경쟁적 시장체제에서의 시장참여자별 설비 및 운영계획	18
3. 시장 및 계통운동을 위한 전력 IT 시스템	19
4. 시장참여자의 전략적 의사결정을 위한 전력시장 시뮬레이터	21
V. 전력시장가격예측 및 전력시장 시뮬레이션	23
1. 전력시장가격예측 개요	23
2. 전력시장가격예측의 필요성	24
3. 해외 전력시장에서의 시장가격예측 기술 동향	26
(1) 강한 규제를 받던 초기 시장 환경에서의 시장가격 예측	26
(2) 규제 완화에 따른 전력시장의 정보공유문제와 시장가격예측	28
(3) 경쟁적 전력시장에서의 시장가격 결정 원리	30
4. 전력시장가격의 기본구조	32

VI. 확률과정 기반의 시장가격 모델	35
1. 금융공학에서의 시장가격(주가) 모델링 방법론	36
(1) 시장효율성	36
(2) 마코프과정	38
(3) 마틴게일	36
(4) 랜덤워크	41
(5) 브라운운동	42
(6) 위너과정과 이토정리	43
(7) 이토과정을 적용한 주가모델	44
2. 블랙-숄즈 모형 분석 및 전력시장가격 적용 방안	45
3. 전력시장가격인자 분석	45
4. 확률론적 전력시장가격 모델의 기본 개념과 적용	51
VII. 전력시장가격모델 설계	58
1. 전력시장수요예측	59
2. 설비계획	61
3. 예방정비계획	62
4. 전력시장가격인자와 시장가격추정방법	63
VIII. 전력시장에서의 장기계약 및 파생상품	65
IX. 결 론	69
참고문헌	71
ABSTRACT(영문초록)	72

논 문 개 요

전력산업이 수직통합체제에서 시장체제로 진화함에 따라, 전력산업을 운영하기 위한 패러다임 역시 바뀌고 있다. 수직통합체제에서는 전력시스템을 운영하는 단일의사결정주체로서의 독점회사만이 존재했으나, 경쟁적 시장 환경에서는 시장운영자, 발전사업자, 송전사업자, 배전사업자 등 다양한 의사결정주체들이 등장하게 되었다. 수직통합체제에서 전력산업이 비용최소화라는 목적함수에 근거하여 운영되는 반면, 시장가격은 경쟁적 시장 환경에서 산업을 움직이는 가장 중요한 신호 중의 하나이다. 시장가격은 가격을 구성하는 많은 인자들과 시장 참여자들 간의 상호작용을 통해 형성되는데, 이는 모든 발전회사들의 설비계획과 운전계획을 수립하는데 필요한 가장 기본적 정보이다.

전력시장가격을 예측하는 현재의 방법은 상기에서 언급한 바와 같이 수직통합체제에서의 비용최소화 기반 최적화 모델에 근거하고 있다. 최적화 모델은 복잡한 수학적 정식화와 많은 데이터 집합을 필요로 하는 모델로서 전력시스템에 대한 충분한 정보가 획득가능한 수직통합회사나 시장운영자에게 적합한 모델이라고 볼 수 있다. 발전회사는 이들과는 다른 입장을 가지고 있는데 타 발전회사의 상업적 정보에 대한 접근이 불가하며, 그러므로 시장가격을 예측하기 위한 다른 차원의 접근법이 필요하다.

본 논문은 분석적 방법과 실험적 방법을 모두 활용하여 전력시장에서 시장가격을 예측하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 본 논문을 통해 제안되는 방법은 불완전한 정보를 가지고 시장가격을 예측해야 하는 발전회사에 매우 적합할 것으로 판단된다. 시장가격 모델은 금융시장에서 주가가격을 예측하는데 사용되는 블랙-숄즈 모양을 기본으로 하며 이를 개량하여 전력시장에 맞는 모델로 구현하고자 하였다.

I. 서 론

전력산업은 초기 지역적인 군소업체들로 시작되었다가, 규모의 경제효과를 위해 발전설비가 대형화되기 시작하였고 더불어 초고압장거리 송전기술이 발전하면서 점차 대규모 기간산업화 되기 시작하였다. 초기 투자비가 커지면서 민간업체가 시작하기에는 위험부담이 증가하게 되었고, 그로 인해 자연적인 독점사업의 당위성이 성립되었으며, 수직통합 체제의 공기업 형태로 발전하여 왔다. 그러나 이러한 수직통합체제가 지속되면서 경영의 비효율성이 누적되었고, 구조개편을 통한 시장경쟁도입과 민간자본 영입을 위한 규제완화가 이루어지면서, 전 세계적으로 다시 시장체제로 변모하고 있는 추세에 있다. 미국의 경우는 지역적인 광대함과 역사적 배경으로 인해 하나의 회사가 전체 지역에 대한 전기 공급을 하기에 불가능한 측면이 있었고, 이로 인해 경쟁체제가 오래전부터 도입되어왔고 정보기술의 발전과 더불어 실시간으로 변동하는 시장가격을 적용할 수 있는 인프라가 조성되어 왔다. 이러한 실시간 시장가격이야말로 전력시장의 핵심적인 요소라고 할 수 있으나, 전력이라는 재화가 가지는 공공성으로 인해 완전한 시장가격을 적용하는 경우는 드물다. 시장체제를 도입한 미국의 경우도 도매시장에 한해서는 자유롭게 변동하는 시장가격을 적용하고 있으나, 소매시장의 경우는 가격상한을 설정하여 시장가격의 지나친 변동성을 억제하고 있다. 이러한 조치는 단기적으로는 소비자를 보호할 수 있었을진 모르겠으나, 전기사업자들의 수익을 제한함으로써 투자를 저해하는 요인으로 작용하였고, 그로 인해 최근 몇 년전의 캘리포니아 사태와 같이 근본적인 발전설비 투자회피로 인한 공급부족 사태를 초래하게 되었다. 따라서 시장가격에 대한 제한을 함에 있어서도 공급자의 수익을 일정수준 이상은 보존할 수 있는 수준에서 이루어져야 하고 그로 인해 지속적인 설비투자가 이루어질 수 있는 유인을 제공해야 한다. 또한, 전력설비는 설비투자 시점부터 완공되기까지의 시간 갭이 크고 대규모의 재원이 소요되므로 의사결정이 쉽지 않고 긴 시간이

소요된다. 따라서 미래의 공급과 수요를 예측하여 적절한 시점에 미리 투자를 결정하는 장기적인 전원계획의 수립이 필요하다. 이러한 장기적 설비계획과 단기적 시장운영을 구동하는 가장 기본적인 신호가 전력시장가격이라고 할 수 있으며, 전력시장가격에 대한 정확한 모델을 수립하는 것이 사업자 입장에서의 투자 및 운영전략을 수립할 수 있는 지표가 되고, 시장운영자 입장에서도 적절한 정책수립을 위한 근거로서 작용하게 된다.

전력시장의 변동성과 위험을 완화하기 위한 또 다른 조치로는 각종 재무적 수단의 적용이 있을 수 있다. 전력은 다른 재화처럼 기술적인 차원에서 저장이 어렵고 그로 인한 재고 개념이 없기 때문에 실시간으로 공급과 수요의 균형이 이루어져야 한다. 이러한 제약이 전력시장의 변동성과 위험을 가중시키는 원인이 되는데, 이를 보완하기 위해 선물 및 옵션거래, 장기계약 등 각종 재무적 수단이 도입되고 있다. 공급자와 대규모 수용가 간의 고정가격 기반의 장기공급계약, 가격이 일정이상 상승했을 때 상한을 적용하는 옵션계약, 발전사업자 간 공급용량 부족 시 대신 공급해주는 수평적 위험헷징계약 등 다양한 모델이 도입되고 개발 중에 있다. 이러한 재무적 수단의 설계 및 적용에 있어서도 가장 기본적인 과정이 전력시장 가격을 예측하는 것이며 단순히 일시적인 가격 값의 예측이 아니라, 수리적 모델로 정식화함으로써 보다 정량적인 재무상품의 설계와 적용이 가능하다.

본 논문은 이러한 배경 하에 전력시장의 모든 측면에서 가장 중요하고도 기본이 되는 전력시장가격의 수리적 모델에 대한 연구 내용을 담고 있다. 이러한 시장가격은 이미 전력분야에서도 연구되어 왔지만, 수직통합 체제에서 비용데이터에 기반한 최적화 기반의 분석적(미시적) 모델에 근거하고 있다. 이러한 분석적 모델은 완벽한 데이터 셋이 갖추어졌을 때만 정확한 결과를 생성할 수 있는 것으로 전력산업이 수직통합체제에서 하나의 의사결정 주체에 의해 운영되었던 관습의 연장선 상에 있는 것이다. 이 당시 운영되었던 최적화 운영 전산 툴 등이 대부분 비용최소화를 목적함수로 취하는 모델에 근거하고 있었기 때문에 경쟁적 체제에서의 시뮬레이터 역시 이러한 툴을 약간 수정하여 적용

하는 선에서 이루어져 왔다. 그러나 경쟁적 체제 하에서는 각 사업자나 의사결정 주체들이 상업적 정보의 비공유로 인해 불완전하고도 불확실한 정보를 얻을 수 밖에 없으며 그로 인해 이러한 분석적 모델로는 정확한 결과를 예측하는 것이 불가능하다. 특히 독점체제와는 달리 경쟁적 시장체제에서의 시장가격이란 최종적인 결과 값일 뿐만이 아니라, 설비투자 및 입찰전략을 수립하여야 하는 입력변수로도 작용하는 만큼 역사적 데이터 및 시장공개 데이터로도 예측할 수 있는 실험적 모델(거시·통계적 모델)의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 개념의 실험적 모델이 가장 활발하게 이용되어 왔던 분야가 금융 분야라고 할 수 있으며 블랙-숄즈 모형으로 시작하여 지속적인 개량 및 적용이 이루어져 왔다. 특히 이러한 금융 수리적 모델은 다양한 시나리오 플래닝에 기반한 결정론적 기법과는 달리, 확률개념을 적용하여 결과를 단일화된 기댓값으로 모델링할 수 있기 때문에 전력산업 분야에서의 장기적 설비계획 및 위험 완화를 위한 재무상품설계에도 보다 적합할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 금융 분야에서 검증된 확률 과정론 기반의 주가모델을 전력시장가격에 적용할 수 있도록 수정 및 보완함으로써, 전력시장 시뮬레이션 및 각종 재무상품 설계에 이용할 수 있는 확장된 모델을 제안하고자 한다.

II. 전력산업 구조개편과 전력시장 체제로의 전이

전력산업은 전 세계적인 차원에서 구조개편과 규제완화의 흐름 속에 있으며, 이러한 과정 속에서 경쟁적 시장체제의 도입과 민영화가 가속화되고 있는 시점에 있다. 전력산업은 대규모 투자가 필요한 기간산업이기 때문에 인프라가 구축되기 전까지는 대규모 발전설비와 송전설비에 대한 투자가 공적자본에 의하여 이루어질 필요가 있었다. 또한 규모가 클수록 발전비용 단가가 떨어지는 규모의 경제 효과로 인해 새로운 신규 진입자가 사업을 시작하기 힘든 진입장벽이 존재하여 왔다. 그러나 발전설비 기술이 나날이 발전하므로써 소규모 설비의 발전단가 하락과 건설기간 단축이 가속화되고 있으며, 열병합, 신재생에너지 등 대체 에너지원에 대한 수요가 증가하면서 소규모 발전설비의 건설역시 늘어나는 추세에 있다. 그로 인해 시장장벽도 많이 낮아지면서 다양한 민간자본이 진입하고 있으며, 정보기술이 발달함에 따라 전자상거래를 기반으로 하는 전력시장 조성환경도 날로 성숙하고 있는 상황에 있다. 따라서 이러한 전반적인 환경 변화 속에서 전력산업 역시 근본적인 구조개편이 이루어지고 있는 것이다.

1. 전력산업구조개편 개요

전력산업은 사업부문에 있어서 크게 발전, 송전, 배전의 3가지 부문으로 나뉠 수 있으며, 규제자 측면에서 시장운영 및 계통운영 기능으로 구분할 수 있다. 기존엔 이러한 모든 사업부문과 운영 기능을 하나의 단일 회사가 수행하여 왔지만, 그러한 독점 체제로 인한 투자 및 운영의 비효율성이 누적되어 오면서, 이를 개선하기 위한 체제의 재편과 규제완화에 대한 수요가 증가하게 되었다. 송전부문은 여전히 자연독점적인 성격이 존재하기 때문에 발전부문과 배전부문에 있어서 경쟁체제의 도입 및 민영화가 우선적으로 도입되고 있다. 구조개편이란 규제를 완화하고, 시장을 도입하며, 민영화를 수행하는 일련의 모든

과정 속에서 산업구조를 재편하는 행위를 의미하는 것으로, 그러한 목적의 설정 및 비중에 따라 최종적인 목표는 다양하게 달라질 수 있다. 전력생산과 공급을 위한 산업모델은 국가 및 시장별로 매우 다양한 형태를 취할 수 있으며, 산업 구조모델의 수립이 명확히 결정된 뒤 구조개편 과정이 진행되어야 한다. 대부분의 국가들이 선택한 구조개편의 방법론적인 접근법은 경쟁을 도입하여 효율성을 증가시키는 것으로 정리될 수 있으며, 목적에 있어서는 민영화, 전력설비규모 최적화, 투자와 운영에 관한 의사결정 통합, 지역적인 가격신호 생성, 수용가에 대한 선택의 기회 부여, 송전사업의 효율성 증가 등의 범주로 분류될 수 있다.

2. 규제완화 및 시장체제의 도입

규제완화는 구조개편을 이행하기 위한 하나의 대표적인 수단이라고 할 수 있다. 전력산업은 이제까지 수직독점체제의 공기업 형태로 이루어져 왔기 때문에 이러한 공기업을 감독하고 규제하기 위한 많은 법적·제도적 장치들이 증가하여 왔다. 이로 인해 사업을 하기 위한 진입장벽이 훨씬 높아지게 되었고 이로 인해 인위적인 독점체제의 요인도 강화되어 왔다. 규제완화란 오랜 기간 누적되어 온 수많은 규제요건들을 완화함으로써 사업자체의 효율성을 높이고 신규사업자의 시장진입도 장려함으로써 자연적인 체제 재편의 흐름을 가속화하는 역할을 할 수 있다. 즉, 규제완화란 독점체제에서 경쟁적 시장체제로 옮겨가기 위한 과정 내지 조치로서 이해될 수 있다. 규제완화를 추진하고 있는 세계 여러 나라에서 이미 채택하였거나 검토 중인 구조개편 모델은 다음과 같은 기준에 의해 표 1과 같은 형태로 구분된다[1].

- ① 자연독점 기능에 대한 경쟁 참여자 도입
- ② 전면경쟁도입을 위한 시장 체제 도입

표 1 규제완화 모델의 구분

특성 종류	독점적 기능부문 접근방식			경쟁기능		
	송전부문	계통운영 부문	배전부문	발전부문	공급부문	
					도매	소매
지역독점권 입찰	개별접속	개별접속	배타적 접속	공급부문 경쟁을 통한 간접경쟁	허용	-
발전부문 경쟁입찰	일반접속	일반접속	-	추가설비에 한하여 직접경쟁	-	-
도매탁송	개별접속	개별접속	-	공급부문 경쟁을 통한 간접경쟁	허용	-
소매탁송	개별접속	개별접속	개별접속	공급부문 경쟁을 통한 간접경쟁	허용	허용
강제적 푸을	일반접속	일반접속	일반접속	모든 설비에 대하여 직접경쟁	허용	허용
자발적 푸을	개별/일 반접속	개별/일 반접속	개별/일 반접속	공급부문 경쟁을 통한 간접경쟁/직접경쟁	허용	허용

규제완화는 다양한 형태로 이루어지지만, 진입장벽을 제거함으로써 독점사업 부문에 대한 접근을 허용하고 발전 및 공급 부문에 경쟁을 도입하는 것을 기본적인 목표로 한다. 전력산업에 대한 규제완화는 전 세계적인 추세로, 칠레(1986), 영국(1990), 뉴질랜드(1990), 노르웨이(1991), 스웨덴(1992), 미국(1992), 오스트레일리아(1993), 핀란드(1993), 일본(1995), 한국(1998) 등에서 진행 중이거나 완료 단계에 있다. 괄호 안은 주요 법률 제정 등 규제개혁이 시작된 연도로 규제완화의 정도와 형태는 다양한 형태와 정도로 진행되었다. 유럽에서는 에너지위원회가 설립되어 공용 송전망에 대해 제3자 접속(TPA: Third Party Access)을 허용하였으며, 미국의 일부 주에서는 소매 전력시장에 경쟁을 도입하는 단계까지 규제 완화가 진행되고 있다.

3. 해외 사례

전력산업 구조개편은 1986년 남미의 칠레와 1990년 영국을 기점으로 시작되어, 유럽, 미국, 아시아 등 선·후진국을 막론한 전 세계적인 차원에서 진행되고 있다. 전력산업이 성숙하면서 발전·송전·배전·판매를 한 기업이 담당하는 수직 독점 체제의 비효율성이 누적되어 왔고 이로 인해 개선의 목소리가

높아지게 되었다. 발전, 송전, 배전, 판매의 수직적인 기능별로 분할과 더불어 각 기능 내에서도 수 개의 기업으로 분리되어 시장이 형성되고 경쟁이 진전되는 등 독점에서 경쟁으로 이행해 가는 추세에 있다. 전력회사의 소유구조도 국가별 특성에 따라 다소 차이는 있으나 민영화가 실질경쟁을 가능하게 하고, 경영효율성 향상을 위한 동기를 부여한다는 점에서 국·공영체제보다는 민영체제로 변화되어 가고 있다. 2000년 4월 28~29일 개최된 IEA 이사국간 장관급 회의에서는 에너지분야의 지속가능한 발전을 위해 관심을 기울여야 할 이슈로 ‘에너지시장 개편’을 언급하였다. 안건은 크게 2가지로 구성되었는데, 첫째, 에너지 산업의 의사결정 주체 변화가 정부에서 민간기업 및 소비자로 옮겨가는 것이고, 둘째, 공적 규제를 받는 독점체제에서 경쟁적이고 개방된 시장체제로 대체되는 과정에 대하여 언급하였다. 이는 에너지시장개혁(energy market reform)이라는 의제로 논의되었고, 전력산업의 구조개편을 통해 기술개발을 가속화하고, 개발, 생산·분배·공급 등의 각 부문별 과정에 기업가적 접근을 가능케 함으로써 사회 후생의 증가를 가져올 수 있는 것으로 평가되었다. 이러한 대전제의 공유하에, 세계 각국은 경제발전 정도, 역사적·정치적·문화적 여건 등에 따라 다양한 형태로 전력산업 구조개편을 추진하고 있다.

4. 우리나라의 현황

우리나라에서는 1999년 전력산업을 독점구조에서 경쟁구조로 전환하는 것을 내용으로 하는 전력산업구조개편기본계획이 발표되었다. 그 이후 이를 기반으로 하여 전력산업구조개편촉진에 관한 법률과 전기사업법이 마련되었으며 발전부문은 6개 발전회사로 분할되고 전력시장 및 전력계통을 운영하는 한국전력거래소가 설립되어 발전경쟁 전력시장을 운영해 오고 있다. 2001년 4월에 발전비용을 기준으로 전력을 거래하는 우리나라 최초의 발전경쟁 전력시장이 도입되어 운영되고 있는데, 이를 원가기반발전경쟁시장(CBP: Cost Based Pool)이라 한다. 원래 완전한 시장경쟁체제인 양방향입찰경쟁시장(TWBP:

Two-way Bidding Pool)으로 이행하기 앞서서, 시장참여자들의 학습 겸 적응을 위해 2년 정도 임시로 운용하기 위한 과도기적인 모델로 도입되었지만, 진행 과정이 지연되면서 여전히 운영되고 있는 상황이다. CBP 시장은 기존의 한국전력공사 발전부문을 1개 원자력, 5개 화력발전회사로 분할하고 공급하고자 하는 전력의 양과 가격을 입찰과정을 통해 결정하는 구조이다. 비용평가위원회에 의해 발전사업자들이 제출한 자료를 주기적으로 평가하고, 이를 발전사업자의 입찰가격으로 간주하는 방식이다. 시장가격은 1시간 단위로 결정되며 도매 부문에 한해서 적용되고 부하수준과 입찰 발전기에 따라서 변동된다.

Ⅲ. 전력시장에서의 주요 이슈 및 문제점

전력시장은 기존의 독점체제인 전력산업에 경쟁을 도입하고 실시간으로 변동하는 시장가격을 생성하여 그를 통해 자원의 효율적인 배분이 이루어지도록 하는 구조이다. 독점체제 하에서의 전력산업은 비용회수를 목적으로 하여 전체 공급비용을 산정한 다음 이를 공급량으로 나누어 평균비용을 산정하여 적용하는 방식이었지만, 이마저도 전기가 가지는 공공성으로 인해 비용성분을 온전히 반영하지는 못하였다. 그리하여 전기 서비스 공급의 적자가 누적되었고 항상 일정한 요금으로 인해 실시간으로 차이가 발생하는 전기의 가치를 온전하게 반영하지 못하게 되었다. 전기의 실시간 가치는 다른 재화에 비해 더욱 중요한 의미를 가지게 되는데, 이는 전기라는 재화가 극단적인 실시간 생산품이기 때문이다. 물리적 시스템 상에서 전기는 생산과 동시에 수송과 소비가 1초도 안 되는 짧은 시간 내에 이루어지는데, 이는 전기의 이동이 거의 빛의 속도로 이루어지고 대규모 저장이 불가능하기 때문에 매 순간마다 공급과 수요의 수급 균형을 유지되어야 함을 의미한다. 따라서 본 절에서는 이러한 전력시장의 구조와 시장가격이 결정되는 원리에 대해 분석하고 이를 통해 향후 시장가격의 모델링에 반영하고자 한다.

1. 전력시장의 구조 및 원리

현재 우리나라에서 운영 중인 CBP 전력시장은 그림 1과 같은 절차를 통해 시장가격을 결정한다. 여기서 SMP는 계통한계가격(System Marginal Price)을 의미하는 것으로 전력시장의 매 시간 가격을 의미하는 전문용어이다. 시간별 부하는 전력거래소에 의해 예측하며, 이렇게 예측된 값으로 사전적인 전력시장 가격을 결정한다.

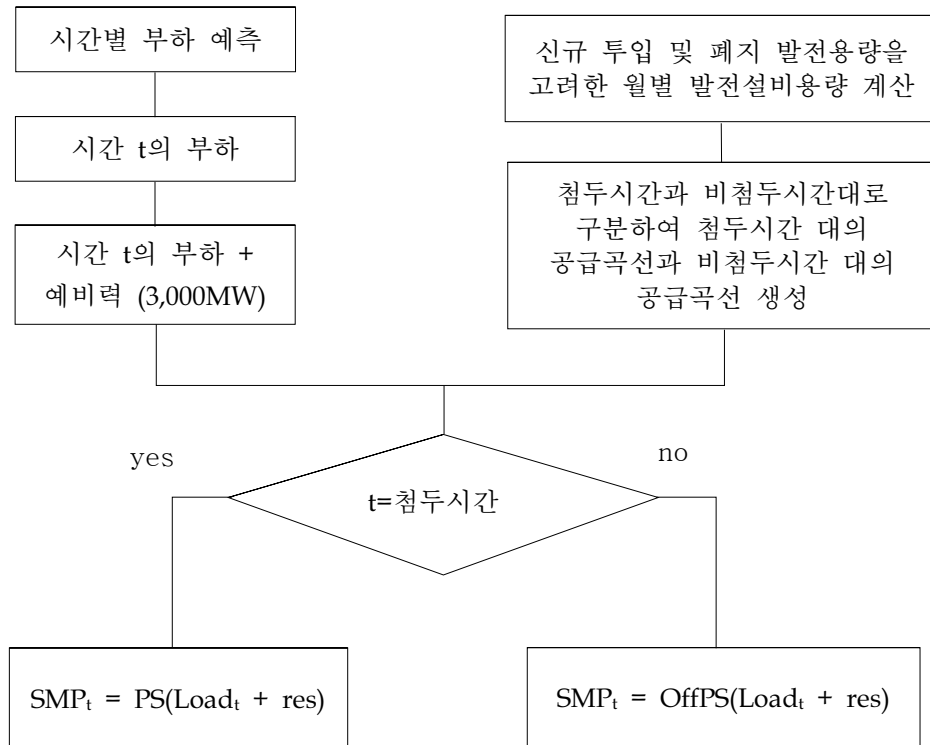


그림 1 전력시장 가격결정 구조 [2]

시간 t의 단위는 1시간이며, 이 때의 예비력 3,000MW는 전력수요예측오차나 예상치 못한 발전기 고장으로 인한 용량 부족에 대비하여 언제라도 투입될 수 있도록 항상 대기하고 있는 발전기 용량을 의미한다. 또한 침두 시간대란 전력 수요가 다른 시간대에 비해 크게 높은 시간대를 의미하는 것으로, 예를 들면, 여름철 오후 2~3시경에 에어컨 사용 급증으로 인해 부하가 크게 상승하는 시간대이다. 시간대를 침두와 비침두 시간대로 구분하는 것은 그에 따라 발전공급비용곡선이 달라지기 때문이다.

2. 전력시장의 특이성 및 제도적 보완

상기의 절에서 언급한 전력이라는 재화의 특이성을 보완하기 위해 전력시장은 다양한 물리적·재무적 제도를 갖추고 있다. 물리적으로는 정보기술 기반 하에 실시간으로 시스템 및 전력수요를 모니터링하는 원방감시제어시스템

(SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition)과 이를 통해 취득된 정보를 기반으로 수요를 예측하고 발전자원을 제어하는 급전운영시스템(EMS: Energy Management System)이 있다. 이러한 시스템은 최소 통신주기 2초 단위로 시스템 전체의 정보를 수집하고 자동적인 연산과 운영 기능을 통해 발전량을 조정하게 된다. 이러한 운영계획은 비즈니스 레벨에서의 입찰 정보를 반영하여 이루어지며, 그러한 비즈니스 레벨의 시장행위를 전력계통(power system)이라는 물리적 시스템 상에서 성립될 수 있도록 조정하는 기능을 담당한다고 할 수 있다. 그림 2는 전력시장을 구성하는 물리적 시스템과 비즈니스 계층의 구성을 도식화한 것이다.

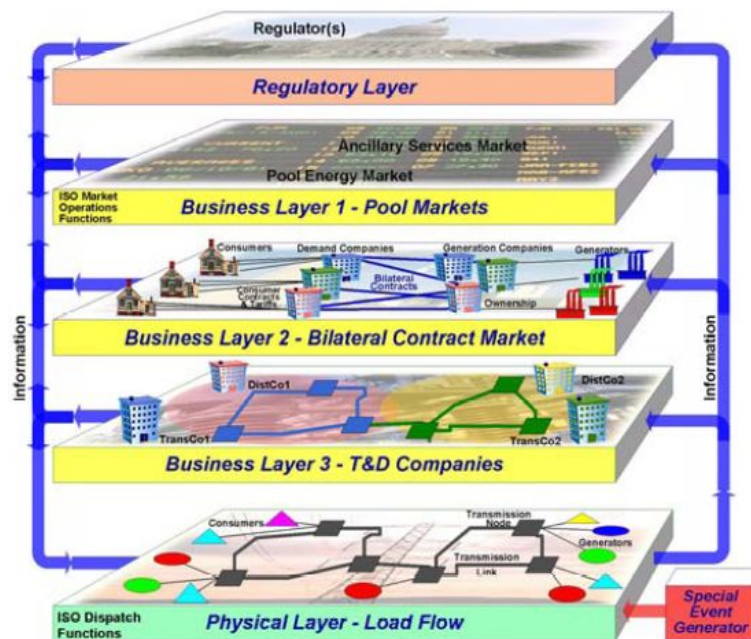


그림 2 전력시장을 구성하는 다양한 계층 [3]

상기의 1절에서 언급한 예비력도 전력시스템의 특수성을 반영하기 위한 물리적 장치 중의 하나이다. 이러한 예비력이 재무적 차원의 보상과 맞물려 종류별로 보다 세분화되어 정의된 것을 계통운영보조서비스¹⁾라고 한다. 이러한 전력

시장이 성숙할수록 다양한 재무적 장치로 이러한 물리적 제약조건을 완화하기도 하는데, 대표적으로 고정가격에 근거한 장기계약, 선물거래, 옵션계약 등이 존재한다. 이러한 재무적 거래의 형태는 시장마다 수없이 많은 형태가 존재하고, 거래 대상에 있어서도 에너지, 보조서비스, 설비 등 다양하지만, 기본적인 개념적 원리는 실시간으로 변동성이 큰 시장가격을 수용 가능한 범위로 완화함으로써 급격한 가격 스파이크에 의한 시장참여자의 충격을 완화하는데 목적이 있다. 또한 이러한 재무적 거래는 예비력과 같은 물리적 장치에 앞서서 시스템의 수급균형을 미리 조절하는 역할도 간접적으로 수행하게 되는데, 시장가격이 높을 것으로 예상되는 시점에 발전사업자는 전력생산을 늘리고 수용가는 소비를 자제함으로써 공급용량 부족사태를 회피하려는 성향이 생기게 되는 것이다.

1) 계통운용보조서비스라 함은 전력계통의 안정성 및 신뢰성을 유지하기 위하여 이루어지는 주파수조정, 적정 예비력의 확보, 무효전력의 수급, 자체 기동발전 등의 행위를 말한다. (전력시장 운영규칙 2조)

IV. 전력시장에서의 전력계통 및 시장운영

전력시장은 크게 물리적 인프라와 비즈니스 레벨의 2가지 계층으로 이루어져 있다. 물리적 인프라는 발전기들, 송전시스템, 배전시스템으로 구성된다. 발전기는 전국에 흩어져 있으며, 송전시스템을 통해 송전된 다음, 배전시스템에 도달하여 지역적으로 배전시스템에 연결되어 있는 부하들에 전기를 공급한다. 여기에서 기본적인 물리적 제약이 발생하는데 개별 발전기들과 송전선로들의 용량제약 등이다. 비즈니스 레벨에서 거래가 발생하면 모든 거래의 조합이 이러한 물리적 제약을 위반하지 않는 범위 내에서 이루어져야 하고 이를 위해서 비즈니스 거래의 조정과 물리적 시스템의 최적 운영이 필요하게 된다. 이러한 역할을 하게 되는 것이 시장운영자(MO: Market Operator) 내지 계통운영자(SO: System Operator)로서 우리나라에서는 한국전력거래소(KPX: Korea Power Exchange)가 그러한 역할을 담당하고 있다. 한국전력거래소는 2001년 한국전력공사로부터 별도 법인으로 분리되어, 전력계통과 시장운영을 담당하며, 한국전력은 송전시스템의 운영과 관리만을 담당하는 송전회사로 남아있다. 따라서 전력시장에서의 전력거래는 시장에서 발생하는 다양한 거래들을 시장참여자의 요구에 최대한 가깝도록 구현하면서, 동시에 실시간으로 발생하는 물리적 제약조건을 충족시킬 수 있도록 시스템 자원의 활용을 최적화하는 형태로 운영된다. 본 절에서는 수직통합체제에서의 통합자원계획과 시장체제에서의 시장운영을 비교하고, 전력시장운영의 제도 및 물리적 인프라에 대한 기본 개념에 대해 소개하고자 한다.

1. 수직통합체제에서의 통합자원계획

수직통합체제에서는 발전·송전·배전이 하나의 회사 내에 수직으로 통합되어 있어서 단일의사결정주체인 해당 회사가 모든 자원의 운용을 최적화하는 형태를 취하게 된다. 전력산업에서의 자원이란 전체 발전설비와, 발전기에서 생산

한 전기를 최종수용가에 전달하기 위한 송·배전 시스템으로 구분할 수 있다. 통합자원계획이란 특정 부하(전기수요)를 공급함에 있어서, 이들 자원을 가장 경제적으로 운영하는 것을 의미한다. 예를 들어 하나의 부하 수준을 공급함에 있어서도 다양한 패턴이 있을 수 있다. 발전비율의 측면에서 보면 원자력 발전기를 많이 돌릴 수도 있고, 석탄이나 LNG 가스 발전기를 많이 돌릴 수도 있다. 또한 지리적인 특성에서 보자면 남쪽의 대용량 발전기들을 많이 가동할 수도 있고, 수도권 발전기들의 출력을 늘릴 수도 있다. 이 경우 남쪽의 대용량 발전기들은 저렴한 대신 송전제약을 발생할 가능성이 있고, 수도권의 발전기들은 부하 가까이에 있지만, 발전단가를 높일 것이다. 이렇게 다양한 비용측면과 제약조건들을 고려하여 발전 및 송전자원의 최적운영조합과 미래의 최적설비비율을 찾는 것이 전력계통운영의 궁극적인 목적이라고 할 수 있다. 그림 3과 4는 우리나라 전력계통의 발전 및 송전설비 구성을 보인 것이다.



그림 3 우리나라의 발전설비 분포

이러한 조건에서 발전 자원과 송배전 자원을 하나의 회사가 모두 소유하여 운

해당 회사는 시스템의 물리적·경제적 정보를 모두 알고 있고 이에 기초하여, 최소비용으로 수요를 만족하는 운전패턴을 찾게 된다. 이러한 운전패턴을 찾는 가장 기본적 과정이 경제급전인데, 발전기를 발전비용이 낮은 순서부터 쌓아서 공급곡선을 만들고 해당 시점의 수요를 만족할 때까지 투입하는 것이다. 그림 3은 우리나라 발전기들을 한계발전비용(변동비용)이 낮은 순서부터 나열해 공급곡선을 생성한 것이다. 변동비용만을 고려할 경우 발전단가 순은 원자력, 석탄화력, 석유, LNG의 순으로 투입된다. 수요가 항상 변동하고, 발전설비의 운영계획 등으로 인해 이러한 공급곡선은 지속적으로 변동하게 된다. 수요는 전력회사의 의지와는 관계없이 형성되므로 이러한 공급곡선이 상기 문제의 해가 된다. 이러한 문제는 특정 시점에서 대해서 고려하면 간단한 문제일 수 있지만, 1시간, 1일, 1주일, 1년에 걸친 단기적인 운영과 수년에 걸친 장기적인 설비계획과 맞물려 고려되어야 하기 때문에 매우 복잡한 문제가 된다.

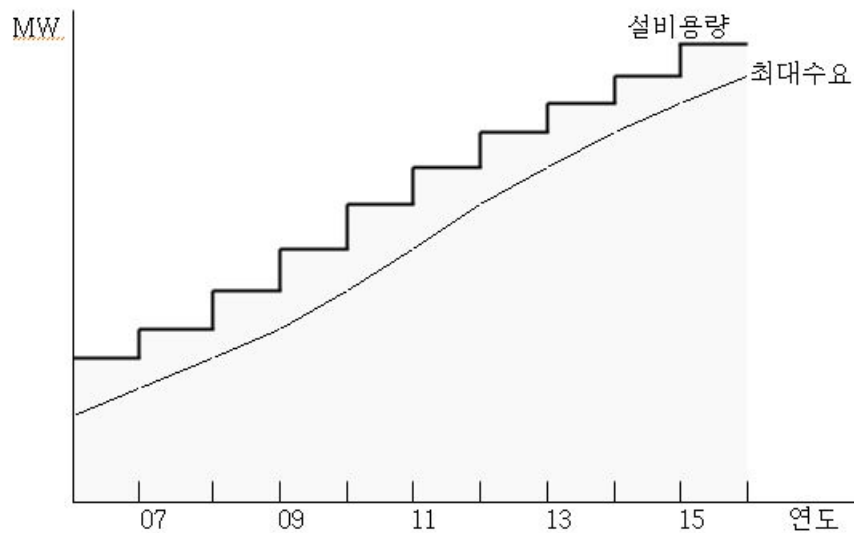


그림 5 설비투자 계획 개념도

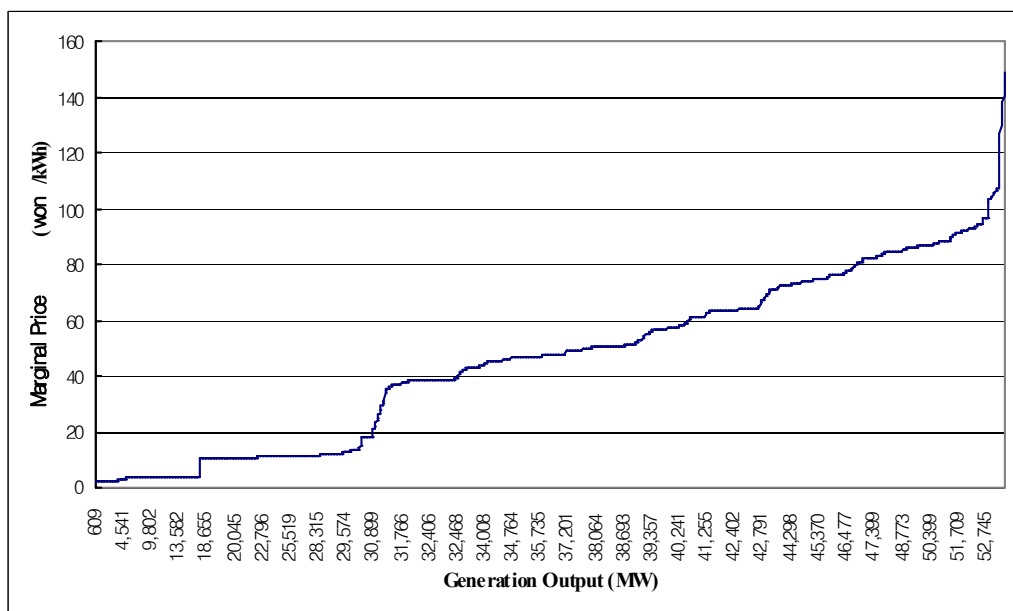


그림 6 우리나라 전력시장에서의 발전기 공급곡선

발전기를 기동하고 정지하는데는 발전기 종류별로 짧게는 몇 분, 길게는 수 시간까지 걸리기 때문에 어느 발전기를 투입할 것인가에 대해서 미리 결정해야 한다. 또한 예기치 못한 발전기의 고장과 수요예측 오차로 인해 수요와 공급의 균형이 깨질 우려가 있으므로 이에 대비한 예비용량을 확보해 둘 필요도 있다. 따라서, 이러한 모든 조건을 고려하여 특정 시점과 일정 시간구간에 대한 최적 발전운전패턴 및 설비투자계획을 찾게 된다.

2. 경쟁적 시장체제에서의 시장참여자별 설비 및 운영계획

경쟁적 체제에서는 발전부문과 송전부문이 분리되고 각 부문은 다시 다수의 경쟁적 업체로 분리된다. 우리나라의 경우 아직까지 소유권이 완전히 분리되지는 못했지만 발전부문이 한전에서 분리되어 6개 주요 발전회사가 경쟁하는 체제로 운영되고 있다. 한전은 송전회사가 되었고, 전력거래소라는 독립법인이 설립되어 발전회사로부터 입찰을 받아 시장을 운영하는 책임을 지고 있다. 수직통합체제에서와는 달리 개별 발전회사의 발전비용 정보는 서로에게 공개하

지 않는 배타적 상업정보가 된다. 그로 인해 발전회사 간 정보의 비대칭이 발생하고 경쟁에 의해 자신의 발전설비가 계통에 투입될 수 있도록 노력한다. 이 경우 발전회사의 전략변수는 발전량과 발전가격이 되며, 시장가격보다 낮은 발전비용을 입찰한 사업자가 발전할 권리를 가지게 된다. 시장 체제에서는 이러한 경쟁에 의한 효율개선 효과가 수직통합체제에서의 정보공유에 의한 이점을 능가하길 기대하는 것이다.

경쟁적 시장체제에서는 수직통합체제에서와는 달리 다수의 의사결정주체가 등장하게 된다. 기존의 한전은 송전회사로서 계통의 안정적 운영과 송전비용을 고려한 송전설비의 건설 및 운영계획에 집중하게 되며, 각 발전회사는 자신의 이익 극대화를 위한 경영활동을 하게 된다. 시장운영자인 전력거래소는 이러한 회사들의 이익과 소비자의 효용을 동시에 고려한 사회적 편익이 극대화될 수 있도록 시장 및 계통운영 활동을 수행한다. 시장체제에서는 이러한 의사결정이 시장가격에 근거하여 이루어지므로, 단기 및 중장기 시장가격을 정확하게 예측하는 것이 매우 중요한 비중을 차지하게 된다. 중장기 설비계획에 있어서 시장가격이 높게 예측되면 신규 설비투자를 시행하여 미래의 시장점유율을 확보하는 것이 필요하며, 낮게 예측되면 설비투자를 자제하는 것이 필요하다. 단기적 운영체제에서도 시장가격이 높게 예측되면 자신의 발전가격도 높이 입찰할 수 있으며, 낮게 예측되면 역시 낮게 입찰하여 발전순위에 포함될 수 있도록 하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 경쟁적 시장의 배경 하에 전력시장가격 예측의 중요성을 인식하고, 기존의 방법들을 분석한 다음 보다 개선된 대안을 제안하고자 한다.

3. 시장 및 계통운영을 위한 전력 IT 시스템

전력계통은 우리나라 전체 지역에 걸쳐 있는 매우 거대한 시스템이므로 이를 운영하기 위해서는 필연적으로 IT 기반 시스템에 의해 운영되는데, 통칭하여 전력IT 시스템이라고 한다.

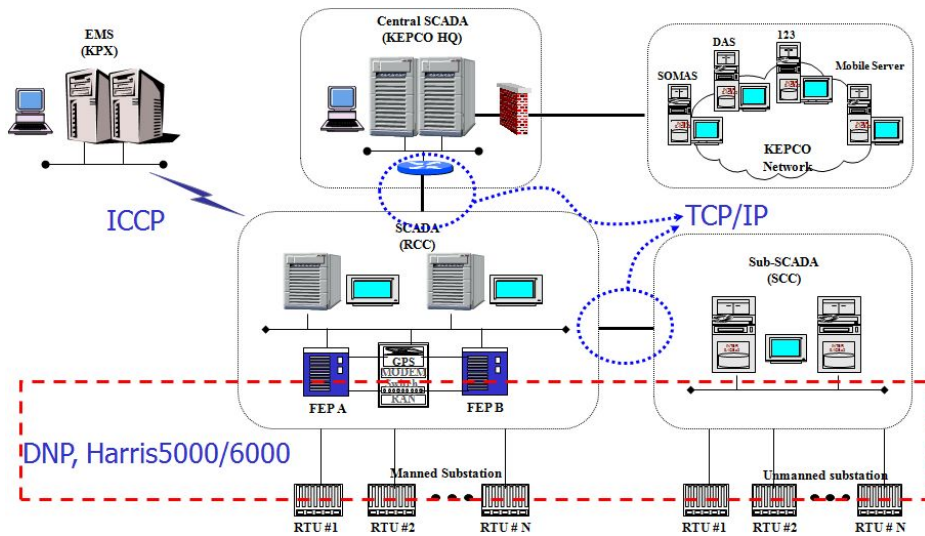


그림 7 전력계통 SCADA 시스템

일단 물리적 차원에서 이들 계통부하와 송전설비를 감시하기 위한 원방감시 제어시스템(SCADA)이라고 부른다. 그림 7은 우리나라의 SCADA 시스템을 도식화한 것으로 각 지역별 설비를 모니터링하고 제어하기 위한 통신 인프라이다.

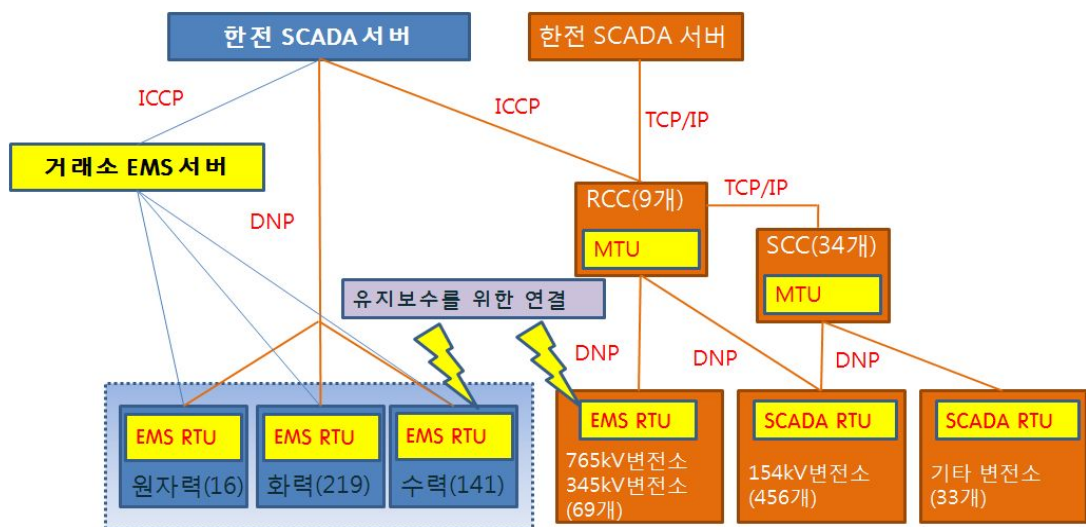


그림 8 SCADA 시스템과 급전자동화시스템(EMS: Energy Management System)

RCC는 지역관리처(Regional Control Center)의 약자로서 한전의 지역관리단 위이자 행정구역으로는 ‘도(province)’ 규모 지역을 관리하기 위한 네트워크의 제어센터이고 RTU는 그 하부에 있는 변전소 단위에 대한 데이터 취득 및 제어용 통신 단말기를 의미한다. RCC는 상위에 중앙 SCADA 서버의 감시와 제어를 받게 되는데, 이러한 수직계층적인 네트워크 구조를 통해 말단의 정보를 수집하고 이를 중앙의 제어센터로 보내 전체 설비를 감시하고 제어하게 된다. 이렇게 취득된 정보는 급전자동화시스템(EMS: Energy Management System)으로 전달되어 최적발전운전패턴을 결정하게 된다.

4. 시장참여자의 전략적 의사결정을 위한 전력시장 시뮬레이터

전력시장 시뮬레이터는 전력시장에서 시장참여자들이 전략적 의사결정을 하기 위한 컴퓨터 기반의 툴이라고 할 수 있다. 상기에서 언급한 바와 같이 전력시장이란 공학적·경제적 변수들이 수십~수백가지 까지 들어가는 매우 복잡한 시스템이기 때문에 이러한 전산툴의 활용이 필수불가결하다.

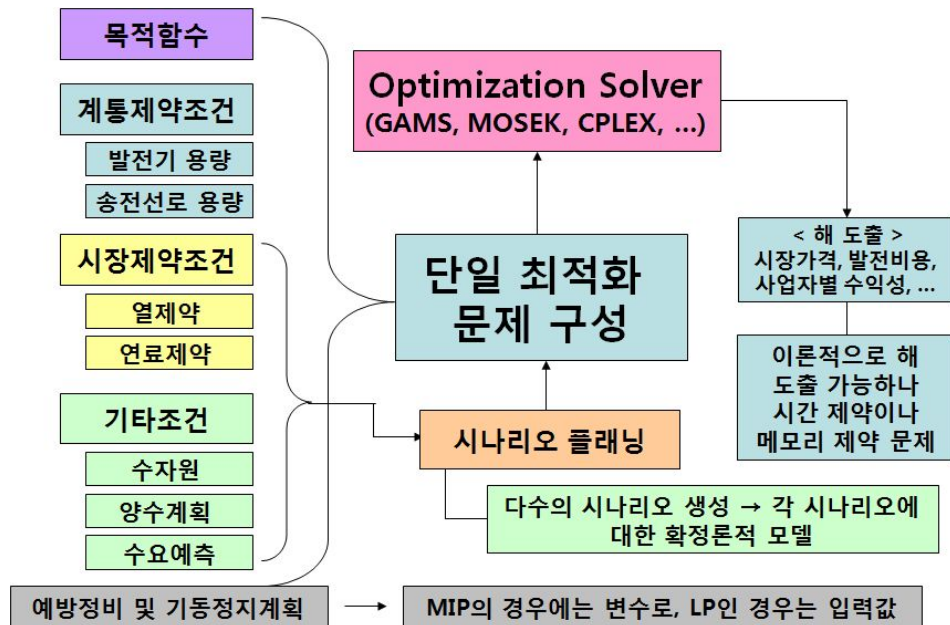


그림 9 최적화 기반의 전력시장 시뮬레이터 구성도

수직통합체제에서 최근 구조개편에 의해 시장체제로 전향되고 있는 전력산업의 특성상 이러한 시장분석 틀 역시 기존의 규제체제에서 적용되던 최적화 기반의 틀들이 개량되어 시장분석에도 활용되고 있는 실정이다.

이러한 최적화 기반의 접근은 시장가격에 영향을 미치는 요인들과 시장가격 간에 민감도를 파악함으로써 이를 통한 분석적 이해를 할 수 있다는 장점이 있지만, 데이터 셋이 정확하지 않을 경우 정량적으로 맞지 않은 결과를 산출할 가능성이 높다. 예를 들어 수직통합체제에서는 공급비용함수가 하나의 의사결정주체인 독점회사 내에서 고정된 비용에 근거하여 형성되지만, 시장경쟁체제에서는 배타적 상업정보인 가격정보가 지속적으로 변동하면서 시장전체의 공급비용함수를 결정하기 때문에 이러한 측면에서 불확실성이 증가하고 추정이 매우 어려워진다. 따라서 이러한 경우에는 이러한 분석적이고도 세밀한 접근 자체가 결과예측의 부정확성을 가중시키는 역할을 하게 된다. 또한 시장 시뮬레이션을 수행하는 목적에 있어서도 수직통합체제에서는 전체 자원을 최적으로 운영하여 비용을 최소화한다는 것이기 때문에 최적화 모델과 개념상 동기화되지만, 시장체제에서는 개별적으로 의사결정을 수행하는 발전사업자가 자신의 이익극대화를 위해 전략적 입찰 행위를 하므로 최적화 개념과 부합하지 않는 속성이 강하다. 이러한 단점을 개선하기 위해 실험적 측면의 방법으로 전향하기 위한 이론적 연구가 수행되어 왔으며 본 논문 역시 그러한 대안 중의 하나로 금융시장에서 적용되고 있는 확률과정 기반의 모델을 전력시장 시뮬레이션에서의 시장가격예측에 적용해 보고자 한다.

V. 전력시장가격예측 및 전력시장 시뮬레이션

1. 전력시장가격예측 개요

현재 원가반영발전경쟁시장(CBP : Cost Based Pool)에서는 발전사업자의 변동비용에 기초하여 공급곡선을 형성하게 된다. 그래서 공급 곡선에 있어서는 비교적 불확실성이 덜하다고 할 수 있다. 그러나 양방향입찰시장이 도입되면 가격결정은 발전사업자와 전력구매자의 입찰데이터(Bidding data)로 결정되므로 불확실성의 정도가 매우 심해진다. 즉 가격결정에 있어서 입찰데이터는 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 수요증가와 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 과정에서도 어려움이 더욱 커지게 된다. 따라서 본 절에서는 가능한 다양한 해외 연구 사례를 참조하여 시장에서의 발전사업자 중장기적(설비), 단기적(입찰 전략) 행위를 어떤 식으로 모델링하고 시장가격과 어떤 식으로 연결되는지를 분석해보고자 한다.

기존에 사용되어 오던 가장 용이하고도 보편적인 방법 중의 하나는 과거의 데이터를 바탕으로 통계적인 시계열 추세선을 형성하는 방식이었다. 그러나 이러한 방법은 시장가격에 영향을 미치는 다양한 인자들과 시장가격 간의 함수관계를 알 수 없고 따라서 정책적 변화 등과 같은 예상치 못한 변수가 발생할

경우나 특수한 상황에 대해 예측할 경우에는 한계점을 가지고 있다. 따라서 이런 필요에 따라 전력시장가격에 영향을 미치는 인자들과 시장가격 간의 함수 관계를 모델링하고 이에 근거하여 분석적으로 접근하는 방법이 연구되고 있다.

전력산업이 독점 체제 하에 있는 기간 동안에는 전력가격이 규제자에 의해 정해졌기 때문에, 전력회사에 있어서 가장 중요한 작업 중의 하나는 그들의 연료비용을 예측하는 것이었다. 그러나 전력시장이 도입됨에 따라 이러한 연료비용 외적인 요인으로도 전기가격은 상승하거나 하락할 수 있게 되었다. 전력시장가격이 어떻게 될지를 예측하는데 있어서 핵심 요소는 전력시장가격에 영향을 주는 인자들과 그와 관련한 불확실성 및 가정들에 대해 이해하는 것이라 할 수 있다.

2. 전력시장가격예측의 필요성

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 시장 참여자들이 존재하며 신용평가기관, 부하공급사업자, 송전망운영자 및 소유자 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 배전사업자 및 소매사업자들은 단기 및 장기계약을 통한 다양한 공급방법을 이용해 최적의 전략을 수립할 수 있게 된다. 송전망 소유자 및 운영자의 경우 지역별 전기가격 차이를 통해 지역 간 탁송 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 산업수용가들

은 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 시장참여자들에게 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.

새로운 형태의 투자 형태인 프로젝트 파이낸스(project finance)²⁾는 가격 예측이 오늘날의 산업에서 중요한 역할을 하고 있다는 것을 보여주는 단적인 예이다. 프로젝트 파이낸스는 투자자들이 회사 자체에 투자를 하는 것이 아니라 프로젝트 자체의 사업성을 보고 투자하는 형태이다. 따라서 전력산업에서의 가격예측은 곧 사업성을 단적으로 나타내는 지표와 같은 것으로, 개발자와 자금제공자가 견적을 산출하기 위한 근거자료로써 공히 사용된다. 흔히 전력산업의 가장 대표적인 형태로는 발전소를 건설하여 발전사업자로 참여하는 방법이 있는데 발전소를 신규 건설하는 사업은 대규모의 사업이기 때문에 민영화된 전력시장을 운영하는 외국의 경우 프로젝트 파이낸스에 의한 자금 조달이 흔히 이루어진다. 프로젝트 개발자나 자금 제공자가 매우 변동성이 심한 시장에 불확실한 선물가격정보를 가지고 참여할 경우 당사자들은 가격변동을 유발하는 동인들에 대한 보다 철저한 주의를 하여야 하며, 그러한 분석에 사용되는 가정들은 그 자체로 매우 복잡할 수 있다. 예를 들어, 연료 및 전력가격에 대

2) 프로젝트를 진행하는 회사가 아닌 프로젝트 자체의 사업성을 보고 투자자들이 투자하는 형태. 즉 건설업체 등 대출기업과 금융기관이 공동으로 사업을 수행할 특수목적회사(SPC)를 설립한 뒤 이 회사에 대출을 해주고 자금을 다른 용도에 사용하지 못하도록 하는 것이다. 다시 말해 사업을 진행하는 회사의 부실로 부도가 나더라도 프로젝트 자체의 사업성으로 수익이 발생한다면 진행회사와 상관없이 투입된 자금을 회수하고 수익도 가진다. 이는 IMF 이후 많은 건설회사들이 부도처리돼 우량 사업까지도 함께 부실화되는 것을 막기 위해 회사와 프로젝트를 분리, 프로젝트의 안전성을 높이기 위해 도입된 제도다. 사업주가 금융기관으로부터 대출제한을 받는 경우에도 유망한 프로젝트에는 대출이 가능해 사업 위험이 프로젝트회사로 전가되므로 사업주는 추가 부채의 부담 없이 사업을 진행할 수 있다. 이 경우 사업주의 재무구조는 현 상태로 유지가 가능하다. 또한 사업성을 기초로 대출이 이루어지므로 사업주에 대한 신용평가 없이 대출이 가능하고 위험 부담의 정도에 따라 금리를 상승시킬 수 있으며 각종 보증 보증을 통해 사업 위험을 신용보증기관과 분담할 수 있다. 반면 프로젝트 파이낸싱은 위험을 전가하는 만큼 금융비용부담도 증가되고, 위험부담을 줄이기 위해 다양한 참여주체와의 계약을 통해 금융이 이루어지므로 절차의 복잡성에 따른 사업 지연의 리스크가 있기도 하다.

한 변동성이 심한 미국 시장의 경우 전력설비 파이낸싱을 위한 견적을 산출함에 있어서, 사업자들이 자신들의 설비가동률 혹은 투자 효용성을 보다 정확하게 모델링하기 위한 노력 속에서, 전력가격에 영향을 미치는 인자가 많아짐에 따라, 연료 및 전력시장 동향 예측을 위한 예측기법 역시 점차 복잡해지고 있다.

3. 해외 전력시장에서의 시장가격예측 기술 동향

(1) 강한 규제를 받던 초기 시장 환경에서의 시장가격 예측

과거 규제하의 수직통합체제에서 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 통계적으로 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 규제체제 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 목적들

을 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 소요되었다. 또한 그러한 상용 모델들의 연산 알고리즘 외부에 공개되지 않는 경우가 일반적이었기 때문에 대부분의 사용자가 시뮬레이터의 연산 로직에 직접적으로 접근하지는 못하였다. 이러한 비용에 기초한 모델들과 그 모델들이 이용한 가정들은 규제체제 하의 전력시장에서는 비교적 잘 적용되었는데, 이는 이러한 환경에서는 불확실성이 적고 시장지배력 행사의 여지가 적으며 시간이 경과하여도 거의 변화가 없는 구조였기 때문이다. 이러한 시장 환경에 변화가 있기 위해서는 보통 수개월의 시간이 걸렸으며 그로 인해 단기적이거나 수주일 단위의 전력 가격 예측은 비교적 정확히 이루어졌다.

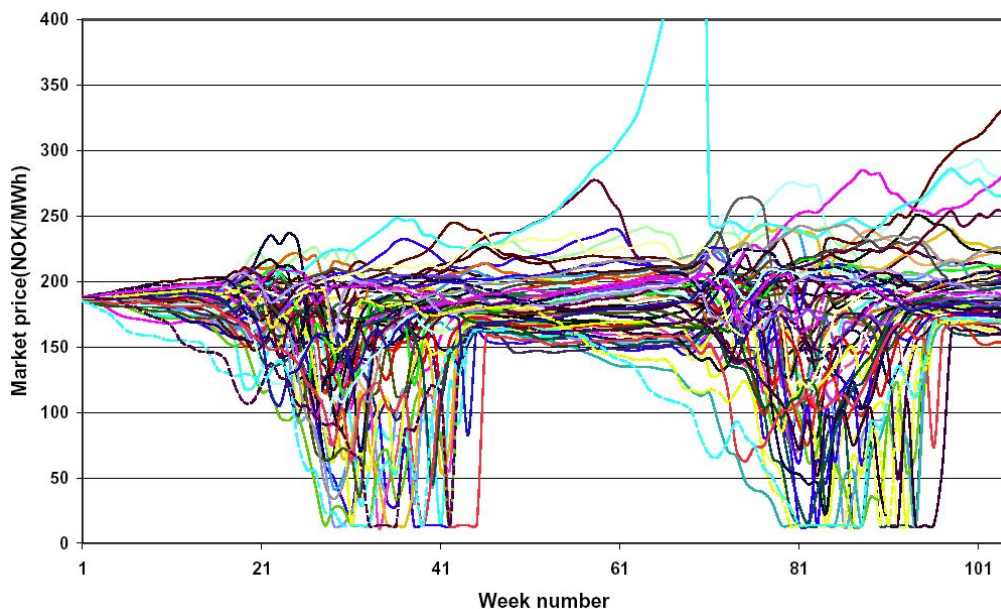


그림 2 다양한 시나리오에 따른 시장가격예측 사례

(2) 규제 완화에 따른 전력시장의 정보공유문제와 시장가격예측

도매전력시장은 세계적인 규제완화의 흐름을 타고 자유화되기 시작했으며 그에 따라 지역별 국가별로 매우 다른 구조로 큰 변화가 발생하고 있는 중에 있다. 이런 변화들이 시장가격에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 시장의 상황에 따라 MWh 당 전력가격은 원래의 발전원가보다 훨씬 높은 수천달러/MWh 까지 치솟기도 하였다. 이러한 가변성(volatility)의 증가로 인해 잘못된 가격 예측으로 수억 달러에 달하는 손실을 입거나 정확한 가격예측과 위험관리로 큰 수익을 올리는 회사들이 등장하였다. 또한 인위적으로 시장가격을 높이기 위한 발전사업자들의 시장지배력 행사도 발생하게 되었다. 그리하여 이러한 가변성 및 시장지배력 행사 위험성을 줄이기 위한 선물시장이나 계약시장 등도 도입되었고, 현물시장에서 뿐만 아니라 이러한 시장에서도 상당한 물량의 전력이 거래되고 있다. 이러한 시장가격의 변동성이나 불확실성을 증가시키는 요인으로서 사고로 인한 발전기나 선로의 탈락, 물리적 전력공급부족, 발전사업자의 인위적 용량 철회, 기후의 영향으로 인한 급격한 수요 증가 등이 있을 수 있다. 이러한 불확실성은 일찍이 엄격한 규제체제 하의 전력시장에서는 존재하지 않았던 현상이다. 그러나 현재로서는 새로운 전력시장에서 전력가격과 전력가격의 변동성을 체계적으로 예측하는 포괄적인 방법은 아직 개발되지 않고 있으며, 과거에 사용되었던 비용기반급전을 통한 가격결정 모델의 경우는 경쟁적 전력시장 특유의 변동성이나 불확실성을 고려하는데 적합하지 않다.

더 많은 발전기 및 발전사업자들이 규제 대상에서 제외되고 있으며, 그로 인해 발전기의 비용 및 설비 관련 정보를 FERC에 보고서로 형태로 제출하여야 하는 의무도 사라짐에 따라 과거에는 손쉽게 얻을 수 있었던 정보를 확보하기가 점점 어려워지고 있다. 또한 발전사업자들의 입찰가격 순으로 급전패턴이 바뀌면서 과거의 발전비용만을 고려한 순수 비용최소화라는 목적함수를 더 이상 적용하기가 어렵게 되었다. 따라서 이러한 불확실성, 경쟁의 고도화 등을 반영하기 위해서는 다양한 시나리오를 고려하거나 확률적 분포의 개념으로 모델링 하는 기술이 필요하다. 오늘날 전력 및 에너지 관련 회사 관리자들이 직

면한 광범위한 현안들과 의사결정 관련 문제들을 해결하는 것은 미래의 예상 가격뿐만 아니라 예상가격과 관련된 불확실에 대한 지식을 필요로 하고 있다. 그런 현안들은 높은 수준의 기업전략으로부터 운영을 담당하는 단위조직의 전략에 걸쳐 두루 해당된다. 발전설비의 건설, 발전사업의 매각, 또는 수직적 구조(도매전략사업, 소매전력사업, 전력거래사업에의 참여 : 원래 수직적 구조는 발송배전을 모두 담당하는 것을 말함)의 수준에 대한 결정과 참여할 지역적 시장의 선택에 대한 결정을 내리는 것은 신뢰성 있는 가격예측 없이는 매우 힘든 기업전략의 몇 가지 예이다. 또한 이러한 결정들은 지역적인 규제의 변화 시나리오(즉 미래에는 규제제도의 변화가 가격에 어떤 영향을 미칠까)하는 정도에 및 시장의 변화와 밀접한 관계가 있다. 단위사업 조직 수준에서는 발전자산의 적절한 발전원별 구성(portfolio), 자산의 취득, 그리고 자산의 매각에 의한 투자비 회수(divesture)에 관한 결정들은 미래 가격의 예측에 커다란 영향을 받는다. 어떤 설비를 거래할 것인가 및 어떤 리스크 관리전략을 따를 것인가와 같은 이행상의 결정은 시장가격 및 가격변동성에 대한 결정자의 견해에 입각하여 이루어진다. 여기서 어려운 사항은 이런 결정을 하는데 유용한 가격예측방법을 어떻게 개발할 것인가에 있다. 미국 내 많은 전력 및 에너지 회사들로 구성된 전략적의사결정모임(Strategic Decision Group)에서의 연구보고서에 의하면, 가격예측방법은 현재의 전력시장 내에 존재하는 다양한 인자들을 충분히 반영하고 올바른 결과를 예측할 수 있도록 다음의 네 가지 사항은 기본적으로 구비하여야 함을 강조하고 있다.

- 경쟁적 시장에서 시장참여자(특히 발전사업자 및 판매사업자)의 운영 패턴
- 특정 미래 시점에 대한 신규설비 건설계획 및 가용 발전용량의 불확실성 반영
- 내부 알고리즘의 투명성과 변화하는 환경에 대한 적응 및 학습 능력
- 신속한 결과 산출이 가능하여야 함

(3) 경쟁적 전력시장에서의 시장가격 결정 원리

경쟁적 시장에서의 행동양식의 몇 가지 요소들은 미래의 전력가격의 변화에 큰 영향을 줄 수 있으며, 가격예측 방법에 포함될 필요가 있다. 가장 중요한 네 가지는 경쟁 입찰, 발전설비 증설, 지역간 전력이동, 규제상의 제약 등이다. 도매전력가격 급등이 발생하는 이유 중의 하나는 어느 정도 시장지배력을 갖는 발전회사들이 특정 시기에 그들의 한계비용을 초과하는 가격으로 입찰하는 것이다. 이러한 경쟁적 행동 양식의 영향은 해당 전력 푸올에서 입찰을 하는 모든 참여자에게 대해 도매전력 가격을 인상시키게 한다는 것이다. 공급이 부족한 여름 첨두시기에 한 전력입찰자가 다른 입찰자들도 그렇게 행동할 것이라는 사실을 알고 보다 높은 가격으로 입찰하는 것이 유리(수익을 많이 올림) 하다고 생각할 경우에는 이러한 가격인상 효과가 특히 심각할 수 있다.

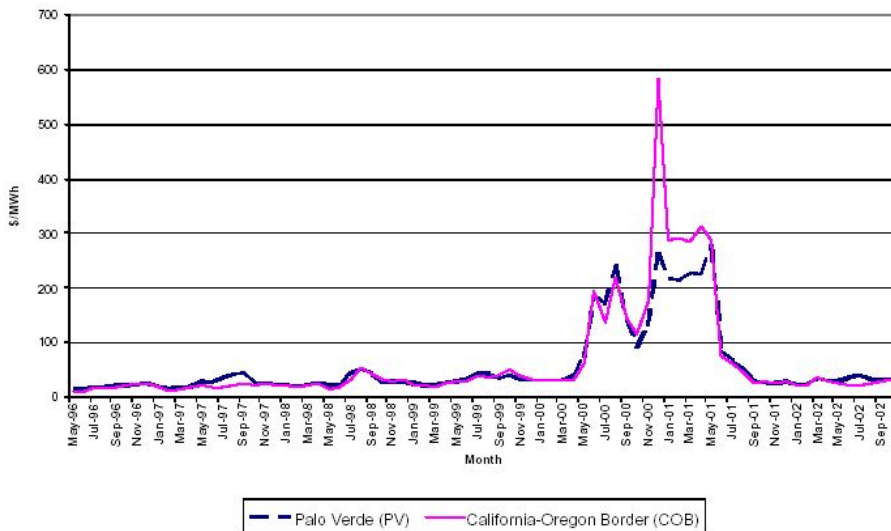


그림 3 미 서부 2 지역 간 전력가격 비교 및 가격스파이크 발생

이 경우 다른 업자들도 그럴 것으로 판단하여 높은 가격으로 입찰하는 전력 판매자들로 인한 가격인상 총액은 지난해 여름 캘리포니아 주에서 나타났던 종류의 지나친 가격급등을 초래할 수 있다. 이런 현상은 일반적으로 첨두 시간에 일어나는 것으로 간주되지만, 대부분의 미국 전력시장들에서 입찰가격은 상

당한 시간동안 단기한계비용(즉 변동비용)을 초과하는 경향이 있다.

캘리포니아 주 전력시장에서의 전력매매가격은 경쟁적인 도매전력시장에서 전력의 현물거래가격이 첨두시간대의 대부분과 공급곡선 전체에 걸쳐서 단기 한계비용보다 높아지는 경향이 있으며, 어떤 경우에는 매우 큰 정도로 높아지는 경우가 자주 발생한다. 전력의 미래 가격은 미래의 공급에 의해 영향을 받으므로, 발전설비의 확충(또는 폐쇄)에 대한 예측은 매우 중요하다. 현재 우리는 FERC 서식에 의한 발전설비 확충정보에 더 이상 의존할 수 없으므로, 어떠한 전력가격 예측방법도 여러 시장참여자들이 미래에 확충(또는 폐쇄)할 발전설비의 규모와 가동시기를 예측할 수 있어야 한다. 이런 예측에 대한 논리는 시장별로 다를 수 있고, 또한 시장의 변화에 대한 시장참여자의 견해에 따라 다를 수 있지만, 그런 논리를 예측에 포함시키는 필요성에 대해서는 의심의 여지가 없다. 거의 틀림없이 회사들은 시장가격의 예측치가 연간 고정운전비용을 회수하고 투자비에 대한 매력적인 수익을 얻을 만큼 가변운전비용을 충분히 초과할 경우에는 새로운 발전설비를 건설할 것이다. 이 방법 또는 다른 방법이 발전소 건설에 이용되는지에 관계없이 가격예측모델은 언제 그리고 어디서 발전소 설비확충이 일어날 것인가 그리고 어떤 형태의 발전설비 및 용량이 가장 수익성이 높은 것인가 (예: 기저부하 발전기, 복합화력 발전소, 기타 화력발전소 등)를 결정하는데 필요하다. 이러한 수익성을 분석하기 위해서는 일단 전력가격에 대한 추정이 필요하지만 이 역시 매우 불확실한 속성을 가진다. 불확실성의 주요 요소들로는 연료(석탄, 가스, 오일) 가격, 신규로 투입될 발전설비 및 송전설비의 용량, 규제구조 및 규제법, 미래의 수요증가, 발전소 운영 및 기후변화 등이다. 이와 같은 불확실성은 규제 하의 상황보다 훨씬 증대하여서, 과거처럼 그러한 요소들을 무시하는 것은 미래가격의 오판, 가격 불확실성의 저평가, 잘못 판단한 가격에 입각하여 내리는 모든 결정과 관련된 리스크의 저평가, 그리고 불확실성의 잘못된 관리를 초래한다. 따라서 미래의 가격을 충분히 예상해 주는 중요한 가격예측방법의 개발은 경쟁적 전력시장에서 나타나는 불확실한 요소들을 반영하는 것을 필요로 한다.

상기의 내용을 종합하면, 전력시장가격의 예측이 어려운 점은 결과변수인 시장가격과 전략변수인 설비계획, 예방정비계획, 기동정지계획, 입찰계획 등이 재귀적으로 얽혀있기 때문에 문제를 풀기 위한 초기 기준점이 불명확하다는 것이며, 그로 인해 불확실성이 가중된다는데 있다. 따라서 전력시장가격을 모델링하기 위한 가장 기본적이고도 핵심적인 접근은 가격에 영향을 미치는 개별인자들을 명확히 정의하고 그들의 불확실성을 확률적인 개념을 이용하여 명확한 수학적 모델로 정식화함으로써 변수 자체의 불확실성과 변수간의 재귀적(recursive) 관계로 인한 시장가격예측의 불확실성을 최소화하는데 있다.

4 전력시장가격의 기본구조

상기의 5.1~3절의 배경과 개념에 근거하여, 다수의 업체들에 의해 개발한 가격 예측을 위한 상업적 모델이 존재하고 있지만, 기본적으로 사용 중인 기술들은 공통적으로 하나 혹은 두 가지 정도의 기법을 사용하고 있다. 전형적인 예측 기법으로서는 시장구조를 반영한 구조적 모델을 구성하여 부하, 발전기, 시장참여자들의 시간별 패턴을 미래의 몇 달 혹은 몇 년에 대해 생성하는 방법을 사용하고 있다. 선도 곡선(forward curve) 기법은 시장에서 관찰 가능한 거래로부터 미래의 가격을 추론해 내는 방법이다. 전력시장과 같이 아직 성숙하지 못한 시장에서는 선도 곡선을 가격예측 결과로 동일시하는 경향이 있다. 일반적으로 선도 곡선은 선도 가격으로 구성되며, 이는 거래자와 최종 소비자가 미래에 사용할 전력에 대해 현재 시점에서 기꺼이 지불하고자 하는 가치(willingness-to-pay)를 나타내는 것이다. 선도 거래의 타당성을 밀받침하고 있는 가정으로서, 사람들이 기꺼이 선도거래를 체결한다는 것과 그러한 선도거래가 가능할 만큼 시장이 충분히 유동적이라는 것이다. 그러나 대조적으로 가격예측은 미래 특정 시간대에서 전기가격이 어떻게 형성될 것인가를 현재 시점에서 예측하는 것이다. 가격예측모델에 가장 널리 사용하는 모델은 선형계획법인데, 이는 해의 수렴성을 보장하기 때문이다. 위와 같은 일반적인 결과물 이외도 가격예측모델은 부하지역과 설비형태(예를 들어 복합화력, 일반화력

등) 별로 발전소 확충 및 폐쇄 여부를 예고해준다. 이 모델은 또한 지역별로 발전소 확충 및 폐쇄 여부를 예고해 준다. 이 모델은 또한 지역별로 발전자산 및 송전자산의 가치를 계산해주며, 발전설비 및 송전설비 확충의 경제성을 비교해 준다. 가격예측모델은 다양한 발전소 출력에 대한 기본적인 가치를 계산하고 생산전력의 가치에 대한 완전한 확률적 분포를 계산할 수 있도록 설계되어 있다. 사용자는 불확실한 입력치를 이용하여 그것들의 결과에 대한 영향을 평가할 수 있다. 전력시장의 경쟁화는 전력가격의 예측을 매우 중요하게 만들었다. 변하는 시장구조, 미래 규제구조에 대한 불확실성, 시장에서의 경쟁적 행위, 그리고 시장가격의 높은 변동성들은 전에 규제된 시장들에서는 보지 못했던 영향들 중의 일부이다. 점점 더 경쟁화되어 가는 전력시장들의 이런 특징들과 기타의 특징들이 새로운 가격예측방법에 대한 필요성을 만들어내고 있다.

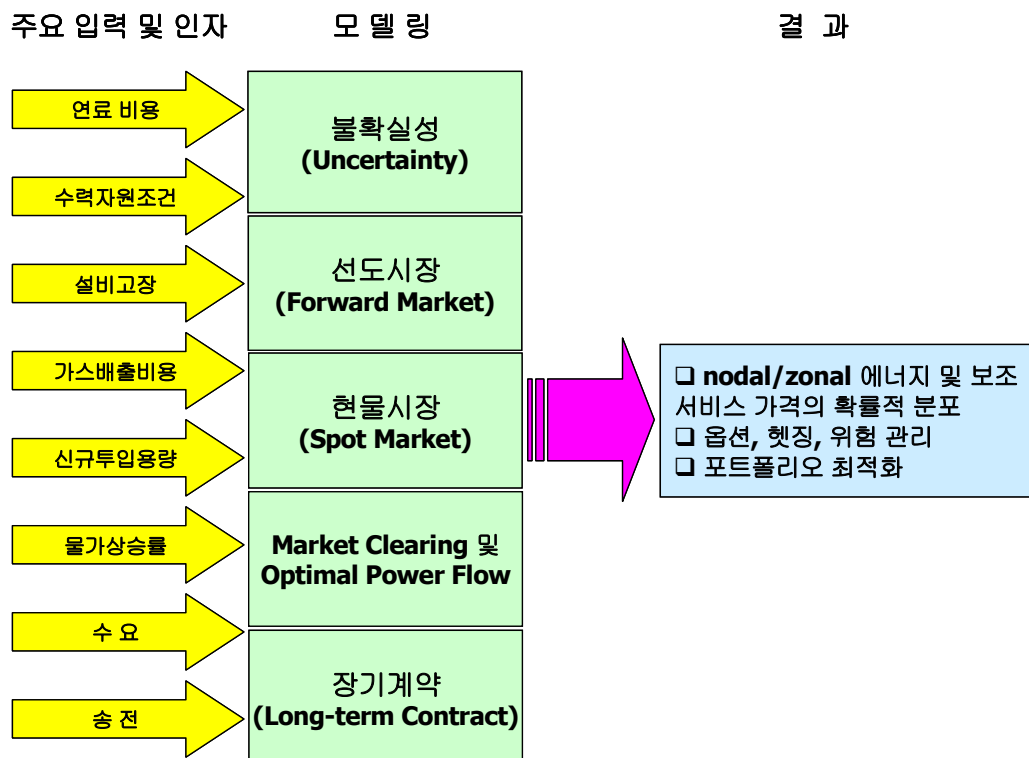


그림 12 전력시장가격에 영향을 미치는 요인들과 가격예측모델

비용에 기초한 급전 및 그런 방법을 사용한 전통적 가격예측 모델들과 같은 과거의 방법들은 매우 자세하였고 복잡하였지만, 오늘날 에너지회사들이 직면한 많은 가격예측 목적 및 가격에 의존한 전략 및 투자결정에 쓰이기에는 부족한 점이 많다. 다양한 재화(에너지, 보조서비스, 용량예비력 등)에 대해 일관성 있는 예측 결과를 얻기 위하여 재화의 종류, 시간별 및 지역별 시장 사이의 상호 작용을 고려하여야 한다. 지역별 법규와 더불어 행정구역이나 국가적 차원의 신뢰도 정책 역시 에너지 시장 및 그와 관련한 다른 시장들에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 에너지, 보조서비스, 배출가스허용기준은 모두 상호작용하며, 그로인해 각 시장에 참여하는 시장참여자의 입찰전략에 영향을 미치게 된다.

VI. 확률과정 기반의 시장가격 모델

전력시장가격도 수많은 입력변수들로 구성되는 전력시장이라는 시스템의 출력변수라고 생각할 수 있다. 시스템을 모델링하는 방법에는 크게 2가지가 존재한다. 하나는 결정론적 기반의 방법이고 다른 하나는 확률론적 기반의 방법이다. 결정론적 기반의 방법은 입력변수를 하나의 상수값들로 입력하는 것으로 결과 역시 하나의 값으로 출력된다. 그러나 전력시장가격은 그것이 실시간 운영시스템이든 미래의 가격을 예측하기 위한 시뮬레이션이든 기본적으로 불확실한 입력 데이터를 필연적으로 가지게 된다. 예를 들어 실시간 급전을 위한 운영시스템에서 현재 시장 가격을 예측하는 경우, 부하값은 최종 순간까지 완전하게 예측되지 않기 때문에 예측오차가 생길 수 밖에 없고, 발전회사들에 의해 기 제출된 발전기 운영정보 역시 최종 순간에서 고장 등의 변수가 생길 수 있기 때문이다. 이러한 특성은 미래 시장가격을 예측하는 경우에 훨씬 심해지는데 기존의 운영시스템 상에서 결정론적 변수들이 모두 확률 변수화 되기 때문이다. 부하, 가용발전용량, 기동정지계획, 입찰곡선 등 대부분의 입력값에 대한 불확실성이 증가하므로, 결정론적 모델링 방법에서는 이러한 변수값들이 다양한 시나리오로 구성되어 각 시나리오에 근거한 전력시장 값이 결정된다. 이와 같이 결정론적 모델링에 의한 방법은 그 만큼 다양한 시나리오에 대한 데이터셋을 준비하고 또 시뮬레이션을 수행해야 하기 때문에 많은 노력과 시간이 소요되고 설사 결과값을 구하더라도 수많은 시나리오 중에서 최종 시나리오를 선택하여야 하는 어려움이 존재한다. 특히 극심한 복잡성을 가지는 전력시장에서 수많은 변수들의 조합에 의해 생성될 수 있는 시나리오는 사실상 그 수가 무한대라고 볼 수 있으며 결과값으로 의사결정을 하는 시점에 그 복잡성이 훨씬 증가하게 된다. 확률론적 방법은 이러한 결정론적 방법의 약점을 극복하기 위해 불확실한 입력 데이터들을 그대로 확률 변수화 하여 취급함으로써 입력과정을 단순화할 수 있고, 대신 반복적인 시뮬레이션을 통해 결과 값의 범

위 내지 기대값으로 예측해보는 방식을 취한다. 이를 통해 일정 수준 범위 내의 오차 내에서 시장가격 수준을 예측할 수 있게 되는 것이다. 특히 이러한 확률론적 모델이 가지는 강점은 입력 데이터 셋이 불완전한 상황에서도 과거의 역사적 데이터나 공개 데이터를 통해 시뮬레이션을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 본 절은 이러한 확률과정 모델을 전력시장 가격 예측에 적용하는 내용에 관한 것으로 이미 금융 분야에서 많이 발전한 블랙-숄즈 기반의 주가모델을 도입하여 전력시장 특성에 맞게 수정하여 적용하는 내용을 담고 있다.

1. 금융공학에서의 시장가격(주가) 모델링 방법론

금융공학에서 주가를 확률과정론적인 방법으로 모델링하는 방법은 크게 네 가지 종류가 있는데, 주가를 시간과 상태(주가)의 함수로 모델링한다고 했을 때, 이산시간-이산상태, 이산시간-연속상태, 연속시간-이산상태, 연속시간-연속상태, 연속시간-연속상태로 구분할 수 있다. 이러한 구분은 대상현상 자체의 성격이 아니라 대상현상을 보는 사람의 입장 및 방법에 따라 달라진다는 것이다. 즉, 주가를 모델링함에 있어서도 이산시간-이산상태로 할 수도 있고, 연속시간-연속상태의 함수형태로도 모델링이 가능하다는 것이다. 이산시간-이산상태의 모델에서 시간간격을 극소화하면 연속시간-연속상태의 함수로 변형이 가능하다. 연속시간-연속상태의 모델은 미적분 연산이 가능하기 때문에 수학적으로 다루기 쉽다는 측면에서 선호되는 모델이다.

시장의 형태나 참여자의 전략에 따라 다양한 확률과정 모델의 적용이 가능하나, 위험중립적 가정하에 마코프 과정(Markov process), 마틴게일(Martingale), 랜덤워크(random walk), 위너과정(Wiener process), 이토과정(Ito process) 등이 보편적으로 적용된다.

(1) 시장효율성

금융공학에서 시장가격을 모델링하는 과정에서 시장은 효율적이라는 가정이

전제된다. 시장효율성은 크게 3가지로 구성되는데, 분배효율성(allocation efficiency), 운영효율성(operation efficiency), 정보효율성(information efficiency)의 개념이 존재한다. 분배효율성이란 모든 시장참여자의 보상이 한계 비용에 근거하여 공평하게 이루어질 때, 운영효율성이란 자본조달 비용이 합리적 수준일 때, 정보효율성이란 이용가능한 모든 정보가 시장가격에 반영될 때를 의미한다. 주가모델에 사용되는 시장효율성 개념은 주로 정보효율성에 관한 것으로 100년에 걸쳐 여러 학자들에 의해 꾸준히 발전되어 왔다. 본 논문에서의 시장효율성이란 앞으로 이러한 정보효율성에 대한 의미로 한정한다.

시장효율성의 개념은 1900년 바셀리에(Bachelier)에 의해 시작되어 다양한 학자들에 의해 지속적으로 보강되어 왔다. 바셀리에는 과거, 현재, 미래 사건에 대한 정보가 시장가격에 반영되거나 명확한 함수적 관계를 보이지 않는다고 하였고, 1965년 사무엘슨(Samuelson)은 경쟁이 성립하기 위해서는 시장가격의 변화는 예측불가능하여야 한다고 주장하였다. 파마(Fama)는 1969년 효율적 시장이란 새로운 정보에 빨리 적응하는 시장이라고 정의하였고, 1970년 가용한 정보를 완전히 반영하는 시장이라고 개념을 보다 구체화하였다. 루빈스타인(Rubinstein)과 라담(Latham)은 각각 1975년과 1985년에 시장이 효율적일 때는 임의의 정보에 대해 포트폴리오 변화를 야기하지 않는다고 하였으며, 1978년 젠센(Jensen)은 효율적 시장에서의 가격이란 해당 시점에서의 정보를 반영하는 것으로 해당 정보에 기반한 한계이익은 한계비용을 초과하지 않는다고 주장하였다. 1992년 말키엘(Malkiel)은 효율적 시장이란 가능한 모든 정보가 시장가격에 반영된 시장이며, 임의의 정보나 정보거래를 통해 추가적인 이익창출이 불가능한 곳이라고 정의하였다. 이러한 정보효율성에 대하여, 그로스만(Grossman)과 스티글리츠(Stiglitz)는 1976년과 1980년에 정보효율적인 시장이 완벽히 효율적인 경우 정보의 수집을 통해 추가적인 이익을 얻는 것이 불가능하고 이로 인해 시장은 붕괴될 것이라고 하여 현실세계에서의 정보 효율성에 대한 일종의 상한 개념을 정의하였다. 1997년 캠벨(Campbell), 로(Lo), 맥킨레이(MacKinlay)는 시장간의 상대적 효율성에 더 큰 의미를 부여하였다. 이어서

1999년 로와 맥킨레이는 효율적 시장가설이 개념적으로나 현실적으로나 논쟁의 여지가 있는 이론이기 때문에 추가적인 보완이 필요하다고 하였으며, 투자자의 선호도, 정보구조, 사업조건에 대한 정보 등이 이에 해당하나, 몇 가지 테스트 결과로 볼 때 시장현상과 이러한 보완이론에 기반한 분석결과 간 명확한 함수적 관계의 유도는 어렵다고 주장하였다. 즉, 시장의 효율성 문제는 수학적 차원에서 정량적 분석이 어려운데다 그나마 가능한 현실적 방법은 특정 균형 모델과 결합해서 분석하는 방법이나 그 경우에도, 시장의 비효율성이 효율성 자체에 기인한 것인지, 모델에서 기인한 것인지 구분이 모호하기 때문이다.

상기의 시장효율성 개념을 정리하면, 시장에 입수된 모든 정보가 가격에 즉시 반영되므로 시장참여자들은 추가정보를 이용하여 초과 이윤을 획득할 수 없다는 것이 시장효율성 가정의 핵심이라고 할 수 있다. 이러한 시장효율성을 가정을 어느 정도 강도로 하는가에 따라 다시 3가지 수준으로 구분할 수 있는데, 약효율성, 준강효율성, 강효율성이다. 이러한 효율성 강도는 정보반영의 정도에 따라 구분된다. 정보 역시 크게 3가지 종류로 구분하는데, 과거정보, 현재의 공개정보, 기업내부의 비공개정보로 나누고, 이 3가지 정보가 반영되는 정도에 따라 효율성 정도를 구분한다. 약효율성이란 미래 주가 예측시 과거의 정보는 이미 주가에 반영되어 과거정보를 이용해서는 더 이상 추가적인 이익을 획득하는 것이 불가능하다는 이론이다. 준강효율성이란 과거의 정보 이외에도 공개정보도 현재의 주가에 이미 반영되어 있기 때문에 그러한 정보를 이용해서 추가이윤 획득이 불가하다는 것이다. 강효율성이란 과거정보, 공개정보 이외에도 기업의 내부정보와 같은 정보도 반영되어 어떠한 형태의 정보로도 초과이윤이 불가능하다는 것이다.

(2) 마코프 과정(Markov process)

마코프 과정에서 변수의 미래 움직임은 오직 현재의 상태에만 의존하고 현재 시점에 오기까지의 경로와는 무관하다고 가정하는 것인데, 이는 마코프 과정이 비기억(memoryless) 과정임을 의미한다. 주가를 S라고 표기할 때, S가 마코프

과정이라 가정하면, 시간 별 주가변동 $S_{t_1}-S_{t_0}$, $S_{t_2}-S_{t_1}$, $S_{t_3}-S_{t_2}$, ...는 서로가 독립이다. 즉, 현재의 주가변동은 과거의 주가변동 경로들과는 무관하다는 것이다.

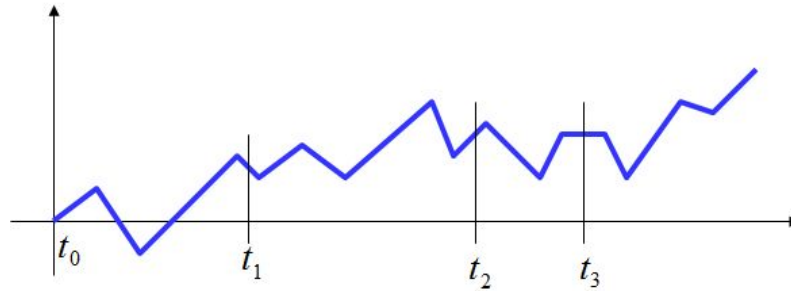


그림 13 마코프 과정

현재 시점의 값만이 미래 값의 예측과 관련이 있고, 과거의 역사적 값과 현재 값에 이르게 된 경로는 미래의 값과 관련이 없으므로, 미래에 대한 예측은 불확실하고 그로 인해 확률분포의 형태로 표현이 되어야 한다는 것이다. 따라서, 과거와 현재가 주어진 상황에서 미래는 과거에 관계없이 현재에만 의존한다. 약효율성 가정 하에서 시장참여자는 과거 주가정보에 대한 기술적 분석을 통해서 지속적으로 추가적인 이익창출이 불가능하다는 것인데, 이는 현재 시점을 제외한 과거의 정보가 미래 결과에 영향을 주지 않는다는 마코프 과정과 병립이 가능하다.

(3) 마틴게일(Martingale)

확률이론에서 마틴게일은 t 시점에서 관측된 조건부기대값이 t 이전 시점($s < t$)인 s 시점에서 관측된 기댓값과 동일한 경우의 확률과정을 의미한다. 원래 마틴게일은 18세기 프랑스에서 유행하던 도박전략에서 유래하였다. 마틴게일 전략 적용의 가장 간단한 예는 동전던지기 게임인데, 동전의 앞면이 나오면 이기고 뒷면이 나오면 지는 게임을 가정할 때, 매번 뒷면이 나올 때 마다 판돈을 2배로 올려서 1번이라도 앞면이 나오면 앞서의 손실을 회복할 수 있도록 하는 개

넘이다. 갬블러의 시간과 재산이 무한대로 가정하면, 앞면이 1번이라도 나올 확률은 1로 접근하고 그로 인해 최소한 손해는 보지 않을 전략으로 간주될 수 있다. 그러나 현실에서는 이러한 전략은 판돈을 기하급수적으로 증가시켜 곧 갬블러의 재산을 바닥낼 가능성이 농후하다. 확률이론에서의 마틴게일 개념은 폴 피에르 레비(Paul Pierre Levy)에 의해서 도입되었고, 이론화는 조셉 레오 두브(Joseph Leo Doob)에 의해 이루어졌는데, 주 동기는 도박전략으로서의 마틴게일 전략이 성공적이지 못할 전략임을 보이기 위한 것이었다. 이를 수식으로 표현하면, 불연속 시간에 대한 마틴게일은 불연속시간 확률과정 X_1, X_2, X_3, \dots 에 대해서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$E(|X_n|) < \infty$$

$$E(X_{n+1}|X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = X_n \quad (\text{모든 자연수 } n \text{에 대해서})$$

$$E(X_{n+1}|X_1, \dots, X_n) = E(X_n|X_1, \dots, X_{n-1}) = E(X_{n-1}|X_1, \dots, X_{n-2}) = \dots = X_1$$

즉, 다음 관측치에 대한 조건부 기댓값은, 주어진 모든 과거 관측치들 중에서, 가장 최근 관측치와 동일하다는 의미로 해석할 수 있다. 이를 보다 일반적인 의미로 확장하면, 임의의 확률과정 Y_1, Y_2, Y_3, \dots 가 다른 확률과정 X_1, X_2, X_3, \dots 에 대해 마틴게일이라고 말할 수 있다.

$$E(|Y_n|) < \infty$$

$$E(Y_{n+1}|X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = X_n \quad (\text{모든 자연수 } n \text{에 대해서})$$

$$E(Y_{n+1}|X_1, \dots, X_n) = E(Y_n|X_1, \dots, X_{n-1}) = E(Y_{n-1}|X_1, \dots, X_{n-2}) = \dots = Y_1$$

동일한 방식으로, 이를 연속함수로 확장하면 다음과 같이 표현될 수 있다. 불연속인 n 은 연속을 의미하는 t 로 대체된다.

$$E(|Y_t|) < \infty$$

$$E(Y_t|\{X_s\}, \tau \leq s) = Y_s, \quad \forall s \leq t$$

s 시점까지 관측된 모든 값이 주어졌을 때, t 시점에서 관측된 조건부 기댓값은 s 시점에서의 관측값과 동일하다.

(4) 랜덤워크(Random Walk)

랜덤워크란 반복되는 임의선택에 의해 형성되는 궤적을 정식화한 것으로, 컴퓨터 과학, 물리학, 생태학, 경제학, 그 외 시간에 대한 랜덤과정을 모델링하는 다양한 분야에서 활용되어 왔다. 예를 들어, 액체용액이나 공기 속에서 움직이는 분자입자의 궤적, 목초를 찾아 헤매는 동물의 경로, 변동하는 주가, 도박꾼의 재무상태 등이 랜덤워크로 모델링이 가능한 현상들이다. 랜덤워크는 확산모델과 관련이 있으며, 마코프 과정에서의 근본적인 논점이다.

가장 기본적인 랜덤워크는 동전 던지기로서 앞면이 나오면 (+1), 뒷면이 나오면 (-1)이라고 할 때, k번째 시도(w_k)의 결과 X_k 은 다음과 같은 형태로 표현된다. 여기서, H(head)는 앞면, T(tail)는 뒷면을 의미한다.

$$X_k = \begin{cases} 1 & \text{if } w_k = H \\ -1 & \text{if } w_k = T \end{cases}$$

그러므로, n번째 시도에서 랜덤워크 과정의 결과는 $M_0=0$ 이라고 가정할 때, 다음 식으로 표현된다.

$$M_k = \sum_{k=1}^n X_k \quad k=1,2,3,\dots$$

이 경우 동전의 앞면과 뒷면이 나올 확률은 공히 $P(w_k = H) = P(w_k = T) = 0.5$ 이므로, 확률과정 M_k 를 대칭형 랜덤워크(symmetric random walk)라고 부른다. 대칭형 랜덤워크는 독립증분을 가지는데, 이는 음이 아닌 정수 $0 = k_0 < k_1 < k_2 < \dots < k_m$ 에 대해 $M_{k_1} - M_{k_0}$, $M_{k_2} - M_{k_1}$, $M_{k_3} - M_{k_2}$, ...는 상호독립이 된다. 이는 상기 (2)의 마코프 과정을 의미하는 것으로, 대칭형 랜덤워크가 마코프 과정의 속성을 가짐을 알 수 있다. F_k 를 k시점까지 공개된 정보라고 하면, M_k 는 k번째 시행에만 의존하며, k시점까지 공개된 정보에는 무관하며, 대칭형 랜덤워크는 다음과 같은 관계에 의해 마틴게일 속성을 가진다[4].

$$\begin{aligned} E[M_l | F_k] &= E[(M_l - M_k) + M_k | F_k] = E[(M_l - M_k) | F_k] + E[M_k | F_k] \\ &= E[(M_l - M_k) | F_k] + M_k = E[M_l - M_k] + M_k = M_k \end{aligned}$$

따라서 랜덤워크는 마코프 과정과 마틴게일 속성을 동시에 가진다.

(5) 브라운 운동(Brownian motion)

브라운 운동이란 어떤 양이 지속적으로 불규칙적인 변동을 하는 물리적 현상을 의미하는 것으로 이러한 현상을 최초로 발견한 영국의 생물학자 로버트 브라운의 이름을 딴 것이다. 꽃가루가 용액 속에서 이리저리 움직이는 것을 보고 생물학적인 현상인지를 조사하였으나 그 증거를 발견하지 못하였고, 그 후에 다른 광물질의 입자들도 무질서한 운동을 하는 것을 관찰한 후에 이러한 것들이 물리적인 현상임을 알아냈으나 최초의 발견자인 브라운의 이름을 따서 브라운 운동(Brownian motion)이라고 명명하였다. 이후 1905년에 아인슈타인이 브라운 운동을 정량적으로 정식화하였고, 이에 기반하여 1908년 프랑스의 물리학자 장 바티스트 페랭(J. Perrin)이 아인슈타인의 이론을 증명하면서 아보가르도수를 계산하였고, 이 업적으로 1926년 노벨 물리학상을 수상하였다. 이 연구를 통해 원자와 분자가 물리적으로 실재하는지에 대한 의구심을 종결시킬 수 있었다. 이러한 물리학적 접근과는 별개로, 1900년에 프랑스의 루이 바셀리에(Louis Bachelier)가 박사학위 논문으로 투기 이론에 대한 연구결과를 제출하였는데, 주식 가격의 움직임을 해석하는데 있어서 브라운 운동을 적용하여, 옵션 가격 공식을 유도하였으나, 그의 지도 교수였던 앙리 푸앵카레(Henri Poincare)는 이 결과의 수학적 논문으로의 가치를 높이 평가하지 않았고, 더불어 학계의 큰 관심도 끌지 못했다.

아인슈타인과 바셀리에 두 사람의 연구는 수학적으로 엄밀하지 못했고 브라운 운동을 정의하는 4가지 속성을 만족하는 확률과정의 존재를 증명하지 못했다. 그 후 1923년에 미국의 노버트 위너(Norbert Wiener)는 브라운 운동의 수학적 공리 체계를 세워 이론을 완성하였는데, 브라운 운동의 존재를 수학적으로 증명하였으며, 브라운 운동과 관련한 수학적 이론에 뚜렷한 기여를 하였다. 이로 인해 브라운 운동은 종종 위너과정(Wiener process)으로 불린다. 브라운 운동은 개념적으로 랜덤워크(random walk)의 시간증분을 0 극한으로 수렴시킨

것으로 볼 수 있으며, 상기에서 언급한 바와 같이 다음의 4가지 속성을 가진다.

- ① 시간 t 에 대한 브라운 운동을 B_t 라고 정의할 때 $t \geq 0$ 인 구간에서 정의되며 $B_0 = 0$ 이다.
- ② 브라운 운동은 시간 t 에 대해 연속함수로 정의된다.
- ③ 랜덤변수 $B_t - B_s$ 는 평균 0, 분산 $t - s (t > s)$ 의 정규분포
- ④ $v > u \geq s \geq 0$ 일 때, 랜덤변수 $B_t - B_s$ 와 $B_v - B_u$ 는 상호독립이다. 이는 브라운 운동이 상기 (2)에서 설명한 마코프 과정임을 의미한다.

또한, 브라운 운동은 마틴게일이고, 다차원으로 확장될 수 있는데, n 차원의 브라운 운동은 n 개의 독립적인 브라운 운동으로 이루어진 벡터로서 이해될 수 있다. 그러므로, 브라운 운동은 연속 확률과정이고, 마코프 과정이며, 마틴게일이다.

(6) 위너과정(Wiener Processes)과 이토정리(Ito's lemma)

상기에서 언급한 바와 같이 마코프 과정은 확률과정의 특이한 형태 중의 하나로, 현재 시점에서 미래에 대한 기댓값은 과거의 값과 궤적과는 무관하며, 오직 바로 현재 시점의 값에만 의존한다는 속성으로, 주식시장에서의 주가는 종종 마코프 과정을 따른다고 가정한다. 주가의 마코프 속성은 상기 (1)에서 설명한 시장의 약효율성 개념과 병행가능한 개념이다. 따라서, 시장의 약효율성을 반영하기 위해 마코프 과정으로 모델링할 수 있다. 위너과정은 이러한 마코프 과정이 평균 0, 분산 1을 가지는 특별한 형태인데, 다수 분자들과의 충돌에 의한 입자 운동을 설명할 때 자주 이용되었으며, 브라운 운동으로 유명하다. 위너과정이란 바로 이러한 브라운 운동을 수학적 이론으로 정리한 것으로, 다음과 같은 2가지 속성을 가지면 위너과정으로 간주된다[5]. 첫 번째 속성은, 짧은 시간 Δt 동안 변량 Δz 는 $\Delta z = \epsilon \sqrt{\Delta t}$ 이며, 이 때 ϵ 은 평균이 0, 표준편차가 1인 표준정규분포이다. 이에 따라 Δz 역시 평균이 0, 표준편차 $\sqrt{\Delta t}$, 분산이

Δt 인 정규분포를 따른다. 두 번째 속성은, 두 개의 짧은 시간 구간 Δt_1 와 Δt_2 동안의 변량 Δz_1 와 Δz_2 는 상호독립이라는 것인데, 이는 곧 마코프 속성을 의미한다. 임의의 시간구간 $T=N\Delta t$ 를 고려할 때,

$$\Delta z = z(T) - z(0) = \sum_{i=1}^N \epsilon_i \sqrt{\Delta t}$$

ϵ_i 는 표준정규분포를 따르므로, $z(T) - z(0)$ 역시 정규분포를 따르게 된다. 따라서, $[z(T) - z(0)]$ 의 평균은 0, $[z(T) - z(0)]$ 의 분산은 $N\Delta t = T$, $[z(T) - z(0)]$ 의 표준편차는 \sqrt{T} 이다. 위너과정은 평균이 0이고 분산이 분산비율이 1인데 이는 분산이 시간간격 Δt 와 동일하다는 것이다. 이를 일반화하여 평균이 0이 아니고, 분산율이 1 이외의 값이 아닌 과정으로 확장할 수 있는데, 이를 일반화된 위너과정 (Generalized Wiener Process)라고 한다. $\Delta t \rightarrow 0$ 으로 보내면, $\Delta z \rightarrow dz$ 가 되고, t 시점의 상태(주가)를 $x(t)$ 라고 하면, $x = dz$ 로 표현할 수 있다. 계수 b 를 통해 분산율을 일반적인 값으로 확장하면, $dx = b dz$ 로 표현 가능하다. 이를 t 에 대해 평균이 0이 아닌 과정으로 확장하면, $dx = a dt + b dz$ 로 표현되고, 여기서 a 와 b 는 상수이다. 첫 번째 항 $a dt$ 에서 a 는 단위시간 당 이동률(drift rate)을 보인 것으로 $dx/dt = a$ 이고, $t=0$ 에서 $x = x_0$ 이면 시간 t 후의 $x = x_0 + at$ 로 표현될 수 있다. 두 번째 항 $b dz$ 는 평균적인 추세인 $a dt$ 에 더해지는 노이즈라고 볼 수 있고, 위너과정 b 배에 해당하는 변동성을 갖는 것이다. 위너과정은 1.0의 표준편차를 가지므로, $dx = a dt + b dz$ 는 b 의 표준편차를 가진다. 여기서 보다 일반화하여 dx 가 시간 t 의 함수만이 아니라, 상태 x 의 함수이기도 하다면, $dx = a(x,t)dt + b(x,t)dz$ 로 정식화 되는데, 이를 이토과정이라고 한다.

(7) 이토과정을 적용한 주가 모델

이토과정 $dx = a(x,t)dt + b(x,t)dz$ 를 주가모델에 적용하면, $a(x,t)dt$ 항은 주가의 평균, $b(x,t)dz$ 는 주가의 순간적인 변동성으로 볼 수 있다. 주가를 S , 주가의 평균 상승률을 μ 로 정의할 때, $a(x,t)dt \rightarrow \mu S dt$ 이로 표현될 수 있다. 이는 변동성이 없

는 경우를 가정할 경우, 주가변동률 $dS/S = \mu dt$ 에서 유도된 것으로, μ 는 일종의 기울기 개념으로 이해할 수 있다. 마찬가지로 $b(x,t)dz$ 항도 $\sigma S dz$ 로 표현될 수 있다. 따라서, 이토프로세스를 주가모델에 적용할 경우, $dS = \mu S dt + \sigma S dz$ 의 형태로 정식화된다.

2. 블랙-숄즈 모형 분석 및 전력시장가격 적용 방안

블랙-숄즈 모형 $dS = \mu S dt + \sigma S dz$ 은 주가 S 를 현재의 상태(주가) S 와 시간 t 의 함수로 보고 주가변동을 미분방정식으로 모델링한 것이다. 블랙-숄즈 모형을 직관적인 의미적으로 해석해보면 특정 상태와 시간 조합 (S,t) 에서 $\mu S dt$ 는 비교적 예측이 가능한 요소에 대한 것이고, $\sigma S dz$ 는 불확실성 성분을 반영한 것이다. 또한 시간이 증가할수록 주식의 가치는 증가할 확률이 높고, 동시에 주가가 올라갈수록 증가율은 둔화될 가능성이 높다는 의미를 내포하고 있다. 시간구간이 클수록 주가가 증가하는 기본적으로 금융시장에서 자산의 시간가치를 반영한 것으로 해석할 수 있다. 이러한 속성은 전력시장에서도 동일하게 적용이 가능한데, 전력시장가격에 영향을 주는 가장 주요한 요인 중의 하나인 전력수요는 시간이 갈수록 계속 증가하기 때문이다. 전력수요는 지속적으로 증가하는 속성이 있기 때문에 다른 조건이 동일할 경우, 시간이 갈수록 전력시장가격은 증가하게 된다. 전력시장가격을 모델링 하는 방법은 다양하게 존재하겠지만 본 논문에서의 기본적 방법은 시장가격을 결정하는 요인별로 이러한 블랙-숄즈 모형을 이용해 모델링 한 다음 이를 가중 평균하여 시장가격을 예측하고자 한다. 이러한 시장가격 인자별로 상기의 2가지 항을 모두 가질 수도 있고, 불확실성 항만을 가질 수도 있다.

3. 전력시장가격인자 분석

현재 세계 각국의 전력시장에서도 향후 전력시장가격의 예측에 대한 많은 연구를 진행 중인데 그 이유는 정확한 시장가격의 예측이 향후 시장참여자들

의 수입에 커다란 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 시장참여자들은 시장가격을 예측하여 장기적으로 새로 투입할 발전기와 시장에서 퇴출할 발전기를 결정하게 되며, 단기적으로는 매 거래기간 별 입찰 전략을 수립하게 된다. 만일 시장가격의 예측이 정확하지 못하다면 발전기의 진입과 퇴출에 대한 결정이 적절치 못하게 되며 이로 인해 시장참여자들의 손해는 증가하게 된다. 그러므로 향후 도매전력시장을 대비하는 국내의 시장참여자들도 시장가격에 대한 예측과 그 결과를 참고한 미래에 대한 계획이 중요하다고 할 수 있다.

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, 연료가격, 수요예측 등의 다양한 변수들을 종합하여 이 변수들의 상관관계에 의해 향후 시장가격을 예측하는 것이다. 기존의 독점계통에서 전력수요의 예측을 위해 사용한 퍼지나 카오스와 같은 방법들이 이에 속한다. 또한 주식시장 등의 파생상품시장에서 가격예측을 위해 주로 사용된다. 둘째는 시뮬레이션 모델로 이는 향후 전력시장의 설비의 변화와 수요를 예상하고 전력시장의 시장가격결정 메커니즘을 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.

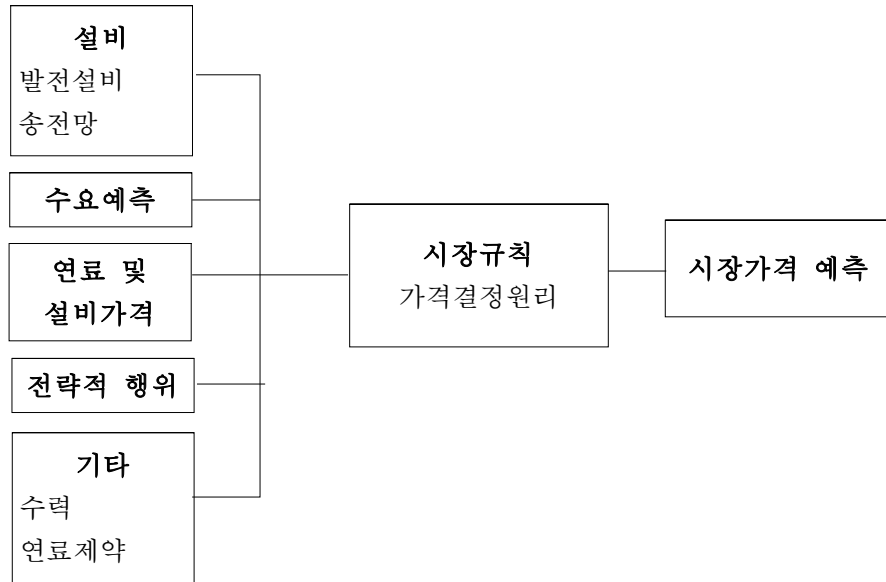


그림 14 시장가격의 예측방법

시물레이션 모델을 이용한 시장가격예측은 실제 전력시장에서 시장가격을 결정하는 기법자체를 모방하여 시장가격을 예측하는 것(CBP 시장에서 RSC에 의한 가격결정이나 향후 TWBP 시장에서 MOS에 의한 가격결정)이라 할 수 있다. 각각의 전력시장에는 시장가격을 결정하는 규칙들이 존재한다. 우리나라의 도매전력시장은 단일요금제를 사용하나 외국의 경우에는 모션별한계비용을 주로 사용하며 일부 국가에는 지역별한계비용을 사용한다. 시물레이션 모델은 먼저 이러한 가격결정방법을 상세히 모델링 한다. 그리고 각각의 전력시장에서는 시장참여자들의 입찰정보를 받아 예비력 등의 요소들을 고려하여 시장가격결정 메커니즘에 따라 정산주기별 시장가격이 결정된다. 그러므로 전력시장가격결정 메커니즘을 구성하고 향후 전력시장에 대한 적절한 데이터를 입력하므로 전력시장의 가격을 예측할 수 있다. 향후 전력시장에서 시장가격에 영향을 미치는 요소들로는 설비, 수요예측, 연료가격, 전략적 행위 등이 존재한다. 이 요소들은 많은 불확실성을 내포하기 때문에 시장가격에 미치게 될

영향을 정확히 예측하는 것은 어려운 일이다. 그러므로 다양한 시나리오를 구성하여 각각의 요소들이 시장가격에 미치는 영향을 분석하여 보는 것이 중요하다고 할 수 있다.

일반적으로 전력시장가격을 예측하기 위해서는 기본적인 비용성분인 발전원가(원/kWh)를 예측하는 것이 필요하고, 전력생산을 위해 지출된 총비용을 생산된 전력량으로 나누어 추정될 수 있다. 발전원가에는 실적 발전원가와 평균화 발전원가 등 두 가지가 있으며, 사용목적의 차이로 인해 포함된 비용항목과 비용분류방법에 있어서 많은 차이가 있다. 먼저 실적발전원가는 운영중인 발전소의 실적관리 및 경영계획수립의 목적으로 이용되며 1년 단위로 매년 산출되는 값이다. 운전실적과 비용의 회계적 처리방법(감가상각 및 지급이자)에 따라 변하므로 신규발전소 건설을 위한 전원별 경제성비교 자료로는 부적합하다.

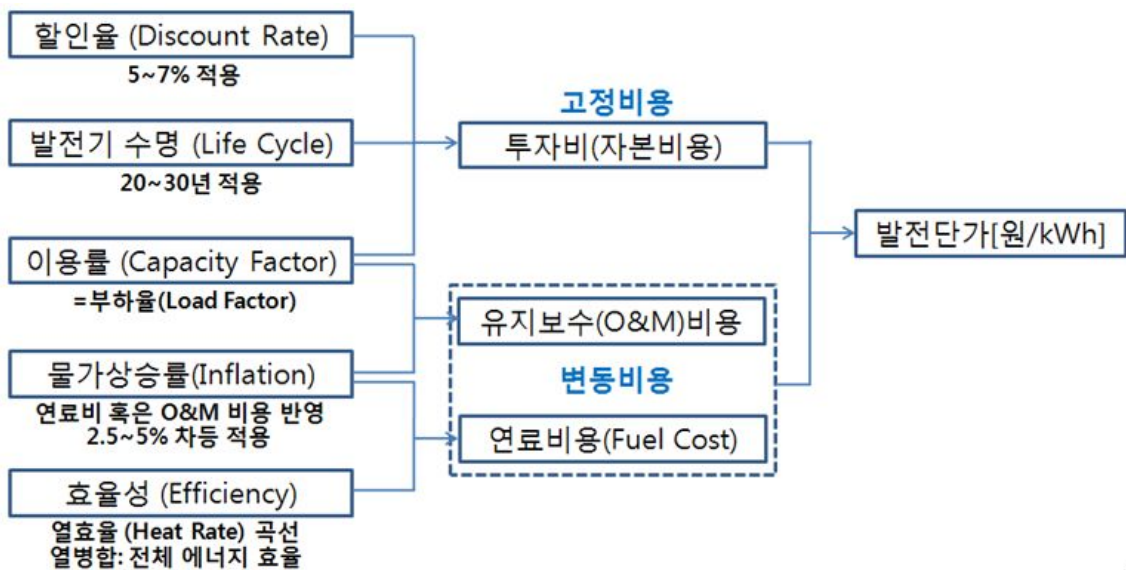


그림 15 발전단가에 영향을 미치는 요인들

평균화발전원가는 발전소의 전수명기간과 동안에 걸쳐 발생된 비용에 대해 할인율을 이용하여 단일 가격으로 평균화시킨 발전원가로서 미래에 건설된 발전소들의 경제성을 비교·평가하는데 주로 이용된다. 대상발전소의 기술적 특성

(정기보수, 사고정지율, 수명기간, 이용률 등) 및 경제적 변수(환율 등)의 가정 설정에 의해 상당히 달라진다.

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 국제시장 가격 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 환경 문제로 인해 적극적인 도입에는 제약이 있다.

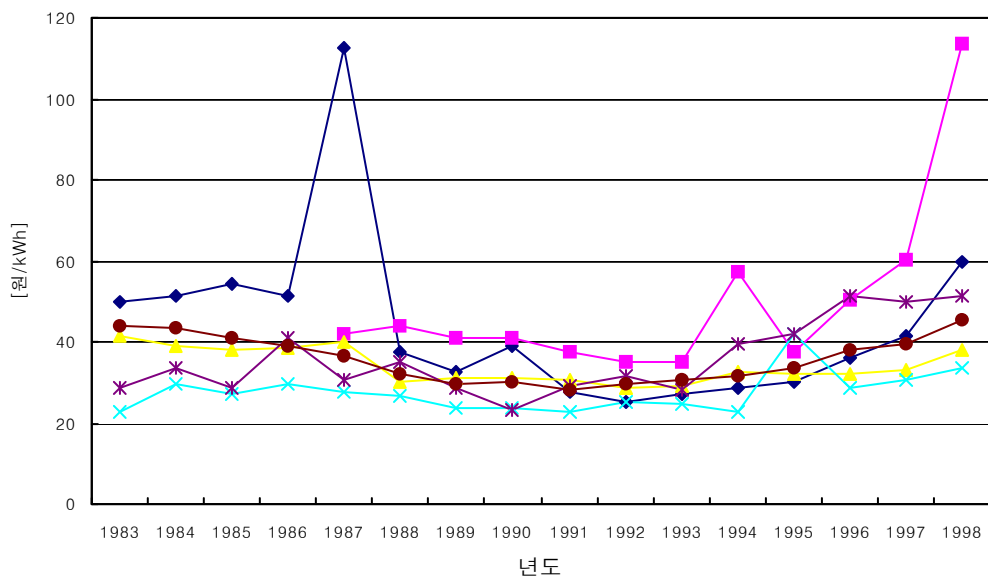


그림 16 연료비의 변동추이

석유화력은 가격의 불확실성과 환경문제로 인해 국가의 장기 전원개발 계획의 고려대상에서 제외되고 있는 실정이다. LNG는 화석연료 중 가장 청정한 에너

지원으로 인식되고 있기 때문에 최근에는 이용가치가 부각되고 있다. 아래의 발전원가에 대한 데이터는 한국전력공사의 경영통계 자료에 수록된 데이터에 기초한 것이다.

전원별 경제성 평가 시 단위 발전소의 비용분석은 수명기간 전체를 대상으로 한 평균화(균등화)발전원가를 사용하는데 할인율, 이용률, 수명기간 등의 가정 설정에 따라 경제성의 우선순위가 달라질 수 있다. 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. 유연탄 화력발전은 총 평균화 발전원가 중에서 연료비가 35% 정도(이용률 80% 기준)를 차지하기 때문에 연료비의 변화가 발전원가에 큰 영향을 미친다. 우리나라는 소요되는 유연탄 전량을 수입에 의존하고 있기 때문에 해외에서 유연탄 가격변화에 따라 유연탄화력의 발전원가는 크게 달라질 수 있다.

연료가격은 발전기의 변동비로 이어지므로 향후 연료가격의 불확실성은 전력가격의 불확실성으로 나타나게 된다. 발전기의 연료로는 원자력, 석탄, 무연탄, LNG 등으로 다양한데 이 중 LNG는 장기계약이 되어있으므로 발전사업자가 자체적으로 LNG를 구입하지 않는 한 가격 변동은 없다고 할 수 있다. 또한 원자력이나 석탄과 같이 기저발전기의 연료는 그 비용이 낮아서 시장가격에 영향을 미칠 확률이 적다. 그 이유는 현재 우리나라의 전력사용패턴은 하계 심야시간에는 냉방부하로 인해 전력의 사용량이 증가하는 추세이며 동계에도 전력을 이용한 난방이 증가하여 기저발전기가 시장의 한계가격을 결정하는 경우는 드물기 때문이다. 그러므로 향후 중부하 설비와 피크부하설비의 연료가격이 전력시장의 가격을 결정하는데 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 같은 연료를 사용하는 발전기라도 발전설비의 효율에 따라 그 변동

비는 달라질 수 있음에 주의해야 한다.



그림 17 발전원별 비용 성분

시장가격에 영향을 미칠 수 있는 기타 요소들로 수력발전에서 이용되는 물의 양과 연료계약 등이 있다. LNG의 경우 take or pay 형태의 계약이므로 계약량을 무조건 사용해야 국가적으로 이익이다. 그래서 발전경쟁시장에서는 연료계약조건이 고려되어 적절한 수준으로 LNG가 사용되도록 하고 있다. 그러나 향후 도매전력시장에서는 발전경쟁시장과 달리 연료계약을 고려하여 시장운영을 하지 않는다. 그러므로 시장참여자들이 적절한 입찰을 하여 LNG를 사용하는 형태로 시장을 모델링 하여야 적절한 시장가격이 결정될 것이다.

4. 확률론적 전력시장가격 모델의 기본 개념과 적용

기본적인 확률과정 모델은 블랙-숄즈 모형에 포아송 과정(Poisson process) 항을 더한 형태로 설정한다. 전력시장에서의 시장가격은 1시간 단위의 불연속 형태로 결정되므로 그대로 불연속적인 형태로 모델링할 수도 있고, 옵션 모델의 유도나 연속속도 및 계산편의를 위해 연속적인 형태로 모델링 할 수도 있

다. 장기적 시장가격과 관련해서는 연속적인 모델, 단기적 시장가격에서는 불연속 모델이 선호될 수도 있다. 시장가격은 가격 자체를 추정하는 것에서 그치지 않고 다른 의사결정을 위한 정보로서 다시 활용되므로 지나치게 모델이 복잡해질 경우 연산속도를 증가시키고 해의 수렴성을 낮출 수 있기 때문에 설비 투자와 관련한 중장기 문제의 경우는 연속함수로 단순하게 표현하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz + dP_t \quad (6.4.1)$$

주가 S 는 전력시장가격으로 대체되고 t 는 마찬가지로 시간이 되며, dP_t 항은 포아송 항으로 랜덤한 발전기 고장으로 인한 점프 과정을 의미한다. 여기서 μ 는 해당 시간구간 동안의 평균 시장가격 상승률, σ 는 평균 표준편차를 의미한다. μ 는 과거의 장기적인 역사적 데이터에 근거하여 계량경제학적인 방법으로 구해진다. μ 자체의 과거 데이터를 참조하여 시계열 형태로 추정될 수도 있고 μ 에 영향을 주는 인자들과의 회귀분석을 통해 구할 수도 있다. μ 자체가 많은 변수들에 의해 복잡한 원리로 결정되는 값이므로 단순한 시계열 추정보다는 영향을 주는 변수들과의 회귀분석을 통해서 구하는 것이 보다 정확할 수 있다. μ 에 영향을 주는 수요증가, 연료비용, 설비증설계획 등은 비교적 변동성이 적은 값이기 때문이다. 예를 들어 수요증가의 경우는 장기적으로 완만한 기울기를 보이는 편이며, 연료비용은 장기계약에 의해 향후 몇 년에 대해서는 고정되는 경우가 많고, 설비증설의 경우는 발전회사들이 미리 설비증설 의향을 제출하고 그에 따라 정부의 인가 방식으로 실행되기 때문에 거의 정확하게 예측될 수 있기 때문이다. 가격상승률 μ 에 영향을 주는 인자는 다양한데, 이중 시장가격을 상승시키는 인자도 있고, 반대로 하락시키는 요인도 있다. 예를 들어 발전설비가 늘어나면 공급곡선이 우하향 하는 효과를 생성하므로 시장가격을 하락시키는 요인이 된다.

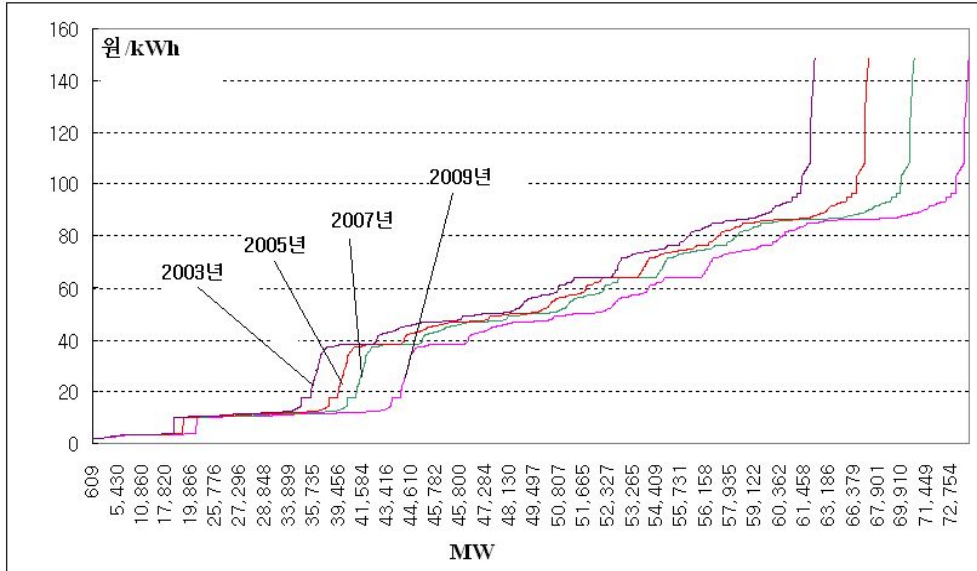


그림 18 연도별 수급 계획에 따른 공급곡선

그림 16은 우리나라 전력시장에 신규 발전설비가 투입되면서 계통 전체의 공급곡선이 우측으로 이동하는 실례를 보인 것이다. 이와는 반대로 수요증가나 연료비용의 상승은 전력시장가격을 상승시키는 요인이 된다. 따라서 이러한 모든 요소들을 고려하여 주기적으로 기준가격을 설정하는 작업이 필요하다. 이러한 작업은 계량경제학적인 접근을 통해서 구할 수 있다. 상기 언급한 인자 이외에도 시장가격에 영향을 주는 다른 측면들이 존재할 수 있겠지만 일단 상기 3가지 인자에만 국한해서 생각해보면 다음의 식으로 표현될 수 있다. 여기서 F 는 연료비용(fuel cost), L 은 부하수준(load), C 는 발전용량(capacity), Δ 는 변량을 의미한다. 여기서 a, b, c 는 시장가격과의 관계를 형성하는 계수를 의미한다.

$$\mu = a\Delta F + b\Delta L + c\Delta C \quad (6.4.2)$$

이러한 평균 시장가격과 가격의 평균상승률은 고려 시간구간에 따라 달라지는데, 수년에 걸친 장기적인 기간을 고려할 경우는 월 내지 연단위로 길어질 수도 있고, 단기적인 운영 차원에서는 5분, 10분, 30분, 1시간, 1일, 1주일 단위로 산정될 수 있다. 고정적인 μ 를 사용하는 경우는 보통 1년 이상의 장기적 기간을 고려할 경우에 적합할 것으로 판단되며, 부하성장이 뚜렷하지 않은 1년 미만의 단기 기간 내에서는 고정 상승률보다는 특성일이나 절기에 따른 기본적인 기준 가격을 설정해주는 것이 적합것으로 판단된다. 특히 전력시장의 시장가격은 년도 단위 해당 년도 내에서의 봄·여름·가을·겨울의 절기별, 1~12월의 월별, 월·화·수·목·금·토·일의 특성일별, 하루 중 낮 시간대와 밤 시간대 등으로 필요에 따라 더욱 세분화된 단위로 나누어 갈 수 있다. 평균 시장가격은 통계적인 방법에 의하여 산정될 수 있고, 절기나 특성일 별로 다음과 같이 구분되어 적용될 수 있다.

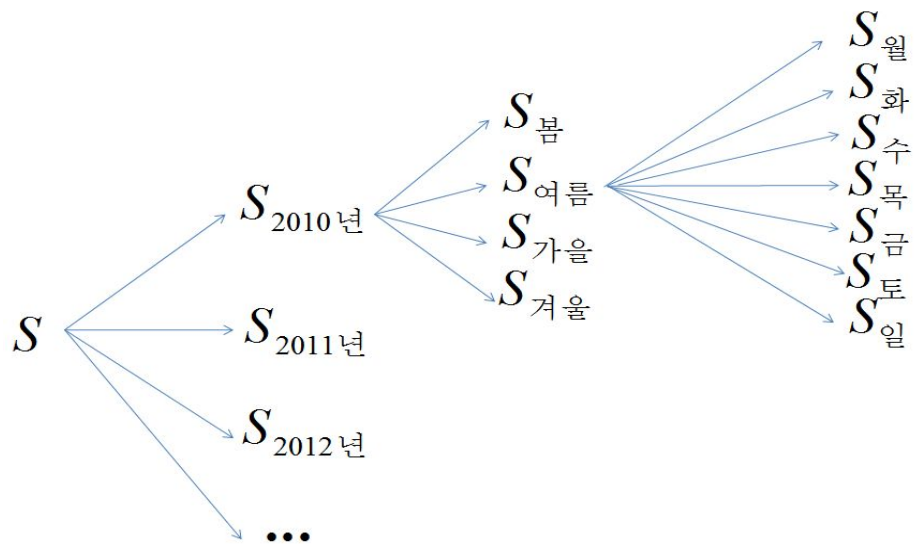


그림 19 시간대별 기준 시장가격의 산정

시장가격 이외의 인자들 역시 상기의 전력시장가격과 마찬가지로 과거의 역사적 실적 데이터를 활용해 추정될 수 있으며 이는 다시 시장가격을 예측하기

위한 근거 데이터로 활용될 수 있다. 수요, 발전설비용량, 연료비용에 근거하여 시장가격을 예측하는 방법은 일종의 분석적 방법인데, 이러한 분석적 방법으로 장기적인 초기점을 설정한 다음, 확률과정 모델에 의한 단기적인 변동을 구현하는 것이 합리적이라고 판단된다. 장기적인 시장가격의 평균은 시장의 기본적인 구조, 즉 공급과 수요 원리에 의해 결정되는 측면이 크고, 단기적인 가격은 변동성 요인에 결정되는 부분이 크기 때문이다. 그림 19는 이러한 방식으로 시장가격을 모델링하는 예이다. 계절별로 평균가격을 적용한다고 했을 때, 절기별로 부하를 사용하는 패턴이 다르므로 고유의 평균가격이 형성된다. 이러한 형태는 보통 1시간 단위의 시장가격 실적에 근거하여 산정되는데, 1년은 총 8760시간이므로 8760개의 시장가격 실적에 근거하여 평균이 구해지고, 나머지 세분화된 평균가격도 마찬가지로 방식으로 구해진다.

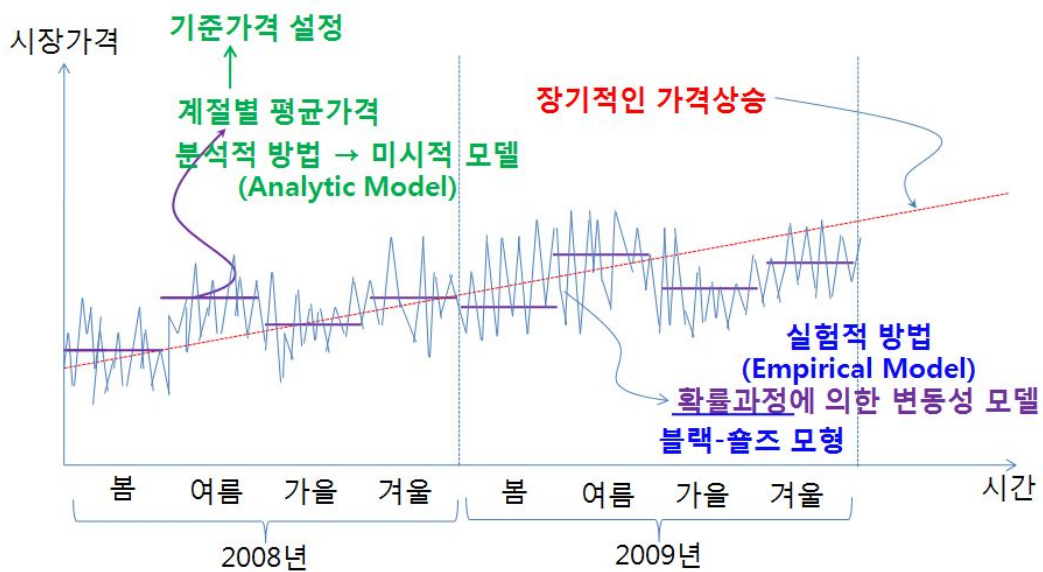


그림 20 전력시장가격모델 방법론

시장에 따라서는 시장가격의 연속성을 고려하여 5분 단위, 10분 단위로 훨씬 주기가 짧은 경우도 있지만, 통상적으로 30분 내지 1시간 단위가 많이 사용된

다. 1일 평균의 경우 24개의 가격에 대한 평균값이 계산된다. 표준편차의 경우는 1시간 단위 평균가격들을 사용하되 그림 20의 평균가격과 마찬가지로 하루, 일주일, 월, 절기별, 1년 동안에 대하여 산정하여 적용할 수 있다.

이러한 개념 하에서 (6.4.1)식은 다음의 형태로 개념화될 수 있다. (6.4.1)을 전력시장가격 예측에 적용함에 있어서 1년 이상의 장기적 시간에 적용할 경우에는 μ 값이 0이 아닌 값이 되고, 1년 이하의 기간에 적용할 경우에는 0이 된다. 이와 반대로 순간적인 점프 과정을 나타내는 λ 값에 대해서는 시간 단위로 시장가격을 산정할 경우에만 $\lambda \neq 0$ 인 값이 되고, 1일 이상의 단위로 평균가격을 산정할 경우에는 $\lambda = 0$ 가 되어 점프과정이 평균적인 값에 흡수되는 것으로 가정한다.

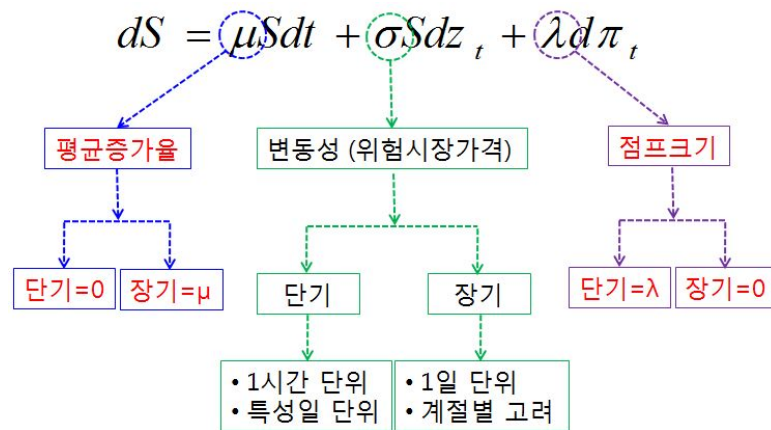


그림 21 확률과정론적 전력시장가격 모델링의 기본 개념

이러한 다양한 시간주기별로 산정되는 시장가격은 그림 22에서 보인 바와 같이 다양한 용도로 활용된다. 시간별 시장가격은 단기적인 운영인 일별 발전입찰과 기동정지계획에 적용되며, 일일 평균, 주간 평균, 연평균 가격 등은 예방 정비계획과 설비계획 등과 같은 장기적 설비운영계획에 적용된다.



그림 22 주기별 시장가격의 산출과 적용

VII. 전력시장가격인자 및 모델의 수립

상기 6장에 소개된 금융공학에서의 확률과정 기반 주가 모델과 전력시장가격 모델로의 적용에 관한 개념에 근거하여 본 장에서는 구체적인 설계 방법과 모델에 관해 제안하고자 한다. 시장가격의 예측 순서는 주기가 긴 가격부터 짧은 순으로 산출하되, 정보가 주어진 정도에 따라 그 출발점이 달라질 수 있다. 예를 들어 일 단위 시장가격이 주어질 경우 시간 단위 가격은 과거 실적값에 기반한 분산 혹은 표준편차를 통해 변동성을 구할 수 있고, 이를 (6.4.1)의 변동성 σ 에 적용함으로써 세부 구간에 대한 시장가격을 추정할 수 있다. 주나 월, 연단위의 가격은 일 단위 가격의 평균을 통해 추정할 수 있다.

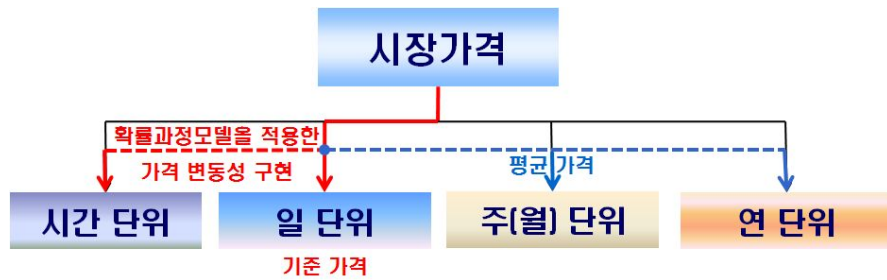


그림 23 일 단위 가격을 기준가격으로 한 시장가격 추정

시장가격 정보가 시간 단위로 주어질 경우 일 단위, 주 단위, 월 단위, 연 단위 시장가격은 시간단위 가격을 평균함으로써 추정될 수 있다.

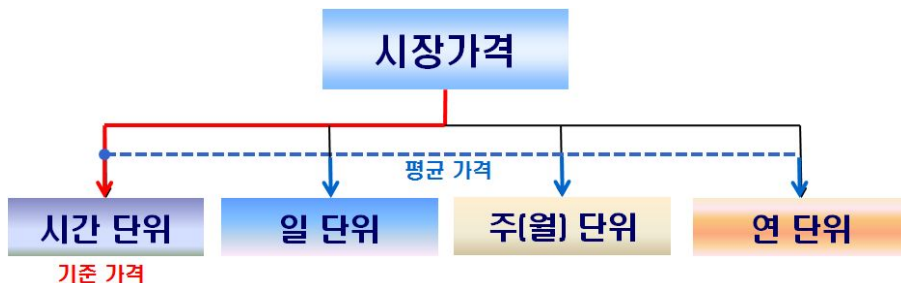


그림 24 시간 단위 가격을 기준가격으로 한 시장가격 추정

반대로 긴 주기의 시장가격정보가 주어질 경우 그림 23과 같이 실적가격정보에 근거하여 짧은 주기 가격들에 대한 변동성(분산)을 적용할 수 있고 이에 근거하여 가격 모델을 추정할 수 있다.

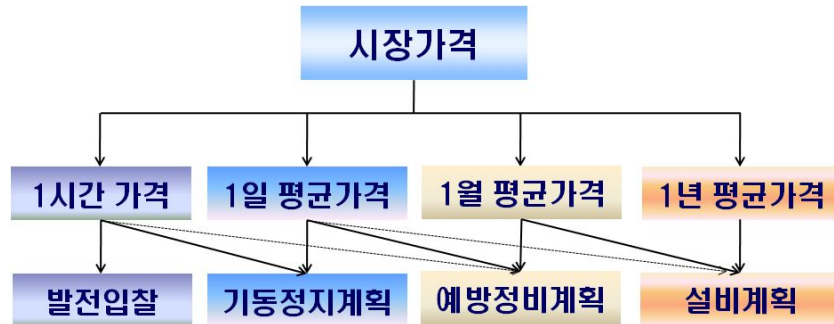


그림 25 주기별 시장가격 정보의 추정과 적용

1. 전력시장수요 예측

전력시장가격에 영향을 미치는 가장 대표적인 인자로는 전력시장수요를 들 수 있다. 전력시장수요는 비교적 급격한 변화 없이 완만한 추이로 증가하는 경향을 보인다. 따라서 과거 실적데이터에 근거한 통계적 방법만으로도 일정 수준 이상의 정확성을 확보할 수 있다. 부하예측데이터는 전력거래소 홈페이지를 통해 공개되므로 그 데이터를 그대로 활용할 수도 있고, 개별적으로 예측될 수도 있다. 단기적인 예측 데이터는 공개되지만 장기적인 설비계획이나 예방정비계획 등을 위해서는 자체적으로 예측될 필요가 있다.

전력수요 동향은 현재의 경제적, 사회적, 기술적인 정세 및 이들 장래의 동향 등 많은 요인의 영향을 받을 뿐 아니라 온도, 습도, 불쾌지수, 강우량 등과 같은 기상요인과 계절, 요일, 경기변동, 산업구조, 사회적인 이벤트 등의 각종 다양한 요인에 의해서도 크게 영향을 받는다. 또한 예측수단도 국제 정세에 따른 에너지 가격의 변화에 따라 전기공급자의 여건, 예측주기, 전력부하와 전력부하에 미치는 요인과의 관계에 따라 각각 고려하여야 할 사항이 다양하다[5,6].

우리나라가 본격적인 경제개발계획을 수립 추진하기 시작하던 무렵에는 실적 자료의 축적이 극히 미약하여 예측기법의 진전을 기대하기가 매우 곤란한 형편이었다. 경제가 발전하면서 전력수요 대상이 과거에 비해 다양하게 변화 발전하였으며, 전력성장의 급속화 및 방대화에 따라 예측기법이 더욱 크게 확대되어 다양한 수요패턴에 대응한 더욱 복잡한 수요분석 및 예측방법이 필요하게 되었다. 또한 건설기간이 긴 유연탄화력의 건설이나 건설반대가 심한 원자력 발전의 건설이 어려워짐으로서 매년 증가하는 수요를 충족시킬 수 없으므로 예측을 통한 최대전력사용의 최적화를 이루어 설비건설의 최소화와 건설되어 있는 설비의 이용률을 최대화하려 하고 있다. 최대수요의 정확한 예측은 효율적으로 발전전력을 사용하게 됨으로서 발전의 낭비를 막고 불필요한 전원설비를 막아준다.

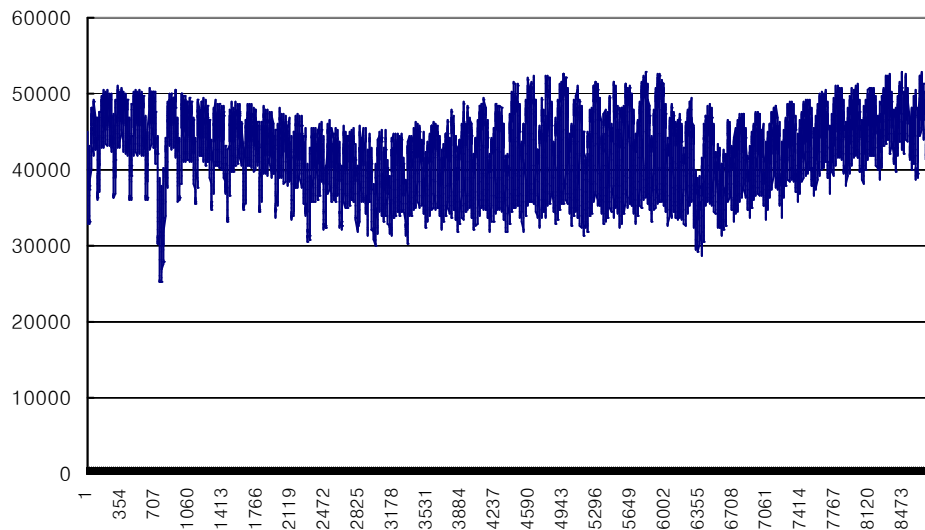


그림 26 2009년 시간별 부하데이터

최근에는 실계통 데이터의 DB화와 컴퓨터 데이터 처리기술의 향상으로 인해 바로 몇 분 후의 수요를 예측하고 그에 맞춰 발전기를 운전하는 기술이 가능해졌다. 또한 전력구조개편으로 인한 발전시장의 도입으로 경쟁력 있는 전력

입찰요금을 위해 보다 정확한 수요예측 필요성이 대두되고 있다 [7]. 시간별 전력수요 패턴과 수준을 예측함에 있어서 그림 19와 같이 특성일별로 구분하여 예측하면 정확성을 높일 수 있다.

2. 설비계획

전력시장수요가 예측되면 이러한 수요를 충족시키기 위한 정부주도의 기준설비계획이 수립되고 현재의 설비용량 수준에서 추가될 필요가 있는 용량이 결정된다. 이러한 필요용량을 충족시키기 위해 발전회사들로부터 설비계획에 대한 의향서를 수렴하게 되고, 그 중 최적 대안을 선정하게 된다. 이를 통해 기본적인 설비수급계획안을 공표하게 되고, 이에 발전회사의 재조정의 절차를 반복하면서 시간의 흐름에 따라 주기적으로 수정되는 과정을 거치게 된다. 따라서 발전회사의 입장에서 볼 때 설비계획의 경우는 비교적 소수의 대안들 간 예측된 시장가격에 근거하여 산출된 수익성 비교를 통해 현재 시점에서 가장 이익률이 좋은 대안을 선택한다. 설비계획의 수익성 분석을 위해서는 연간 가격이 사용될 수도 있고, 월별, 주별, 일별 가격이 사용될 수도 있다.

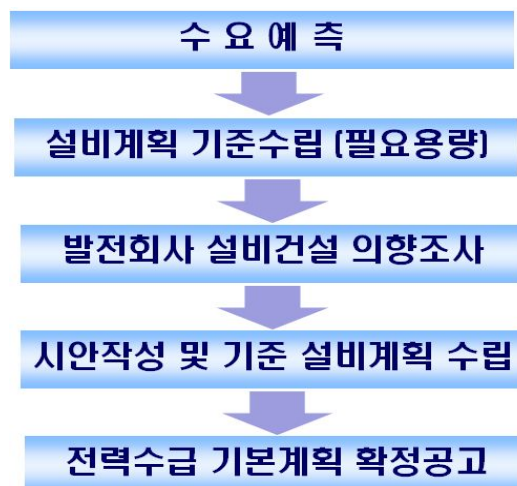


그림 27 설비계획수립절차

3. 예방정비계획

설비계획이 확정되면 고정된 설비에 대한 예방정비계획을 수립하게 된다. 예방정비계획 역시 시장가격이 낮은 시기에 설비점검을 시행함으로써 설비의 가동률을 높이고 이익을 극대화하는 전략이 가장 기본이 된다. 이러한 전략적 입장은 타 발전사도 마찬가지이므로 미래의 시장가격과 발전사들의 예방정비계획을 고려하여 수행된다. 그림 28과 29는 과거 실적데이터에 근거한 예방정비계획 사례들로서 이러한 데이터에 근거하여 그림 30과 같이 미래 예방정비계획을 추정할 수 있다.

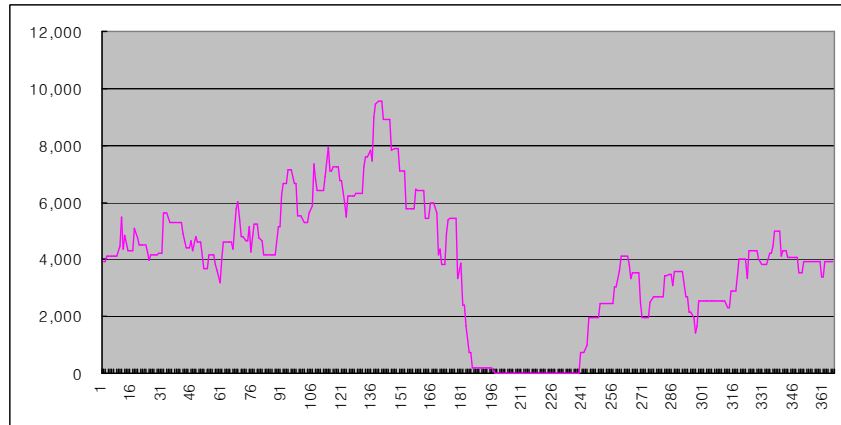


그림 28 2003년도 발전설비 유지보수 계획

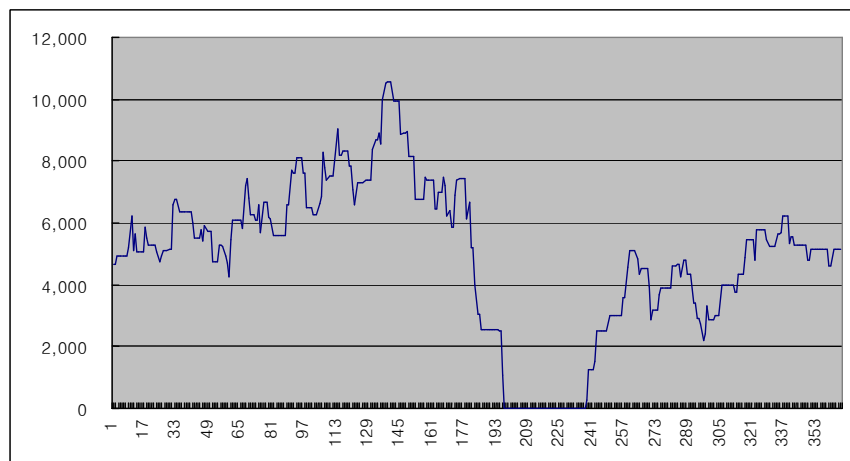


그림 29 2007년도 발전설비 유지보수 계획

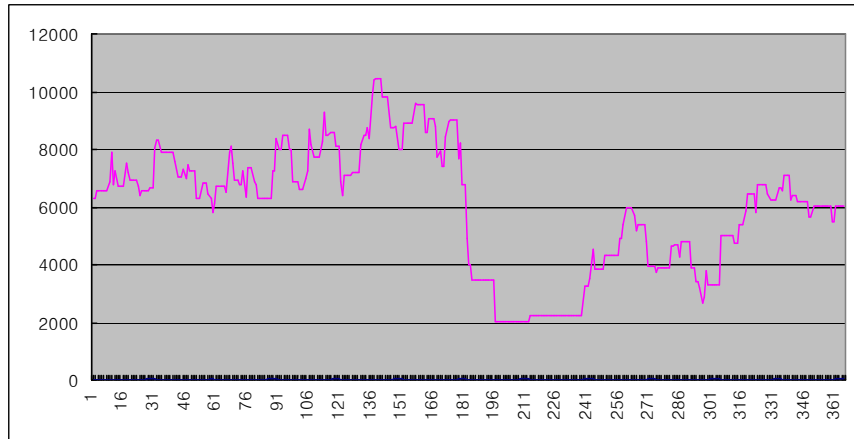


그림 30 2012년도 발전설비 유지보수 계획

4. 전력시장가격인자와 시장가격추정방법

상기 절에서 설명한 바와 같이 전력시장가격은 많은 인자들에 의해 영향을 받고 그로 인해 결정된다. 그 중에서도 대표적인 것만을 고려해본다면, 설비용량, 발전비용, 부하수준 등이 존재한다. 전력시장가격을 추정하는 방법은 크게 2가지가 있는데, 하나는 과거 데이터에 근거하여 이동평균, 회귀분석 등을 이용한 통계적인 방법으로 추정하는 실험적(empirical) 방법이고, 다른 하나는 시장가격이 상기의 가격인자들로 형성된다고 보고 공급 및 수요 곡선을 기본으로 하는 미시적 모델에 근거한 분석적(analytic) 방법이다. 이 두 가지 방법은 제각기의 장단점이 존재한다. 분석적 방법은 미시적 시장모델에 근거한 정확한 개념에서 출발하지만, 그러한 정확성이 결과상으로 구현되기 위해서는 정확한 데이터의 확보가 담보되어야 한다. 이러한 분석적 방법은 수직통합체제에서 단일 의사결정주체의 비용최소화 목적함수 기반의 최적화 기법에서 널리 이용되었던 개념이다. 모든 공학적·재무적 데이터를 수직통합회사가 확보할 수 있었기 때문에 이러한 미시적 모델수립에 의한 방법도 상당한 정확성을 구현할 수 있었다. 그러나 경쟁적 시장체제가 도입되면서 다수의 시장참여자가 제각기의 이익극대화를 추구하게 되었고, 그로 인해 기존에 공유되

던 많은 정보들이 상업적 기밀화 되고 있고 그로 인해 정보의 불확실성이 커지고 있다. 이러한 상황에서는 미시적 모델이 정확히 만들어지더라도 데이터의 확보가 용이하지 않기 때문에 정확한 결과를 예측할 수 없으며, 그로 인해 오히려 모델의 복잡성이 불확실성을 증가시키는 역할을 하게 된다. 이 경우는 통계적 방법이 대안이 될 수 있는데, 예측하고자 하는 값의 과거 실적 데이터만 있으면 비교적 정확한 값을 추정할 수 있기 때문이다. 그러나 이러한 통계적 방법은 실적 데이터의 과거 추이에 반응하고 있기 때문에 설비투자 등과 같이 근본적인 시장변화가 일어나는 상황에 대해서는 약점을 가지고 있다. 따라서 이러한 분석적 방법과 실험적 방법 간의 절충을 통해 보완적인 모델을 구현할 수 있다. 그림 26은 이러한 개념을 도식화한 것이다.

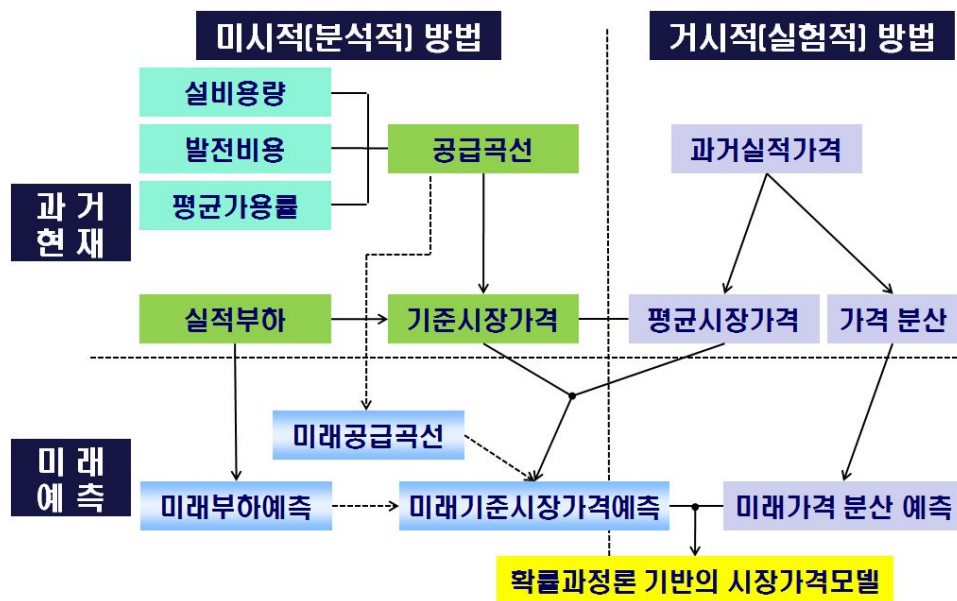


그림 31 시장가격인자와 확률과정 기반의 시장가격모델 추정

VIII. 전력시장에서의 장기계약 및 파생상품

전력산업에 있어서 시장체제가 도입됨에 따라 기존의 정부가 담당하던 많은 역할이 이제는 시장에 참여하는 참여자들의 의지나 시장자체의 기능에 의해 수행되어야 하는 상황이 되었다. 경쟁체제를 도입하는 가장 큰 이유 중의 하나는 경쟁 효과에 대한 효율 증진 및 소비자의 복리 증진이라고 볼 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 경쟁이 공정하고 치열하게 이루어져서 시장가격이 안정화되어야 하며, 담합이나 불공정거래행위를 방지할 수 있는 시스템이 갖추어져야 한다. 전력사업의 특성상 초기 투자비가 많이 들고 그로 인해 시장진입 장벽이 타 산업에 비해 높기 때문에 기존 참여자와 대등한 경쟁력을 갖춘 신규참여자가 진입하기 어렵고 현재의 대규모 발전사업자 수도 6개 정도이므로 담합에 대한 가능성을 완전히 배제할 수는 없는 상황이다.

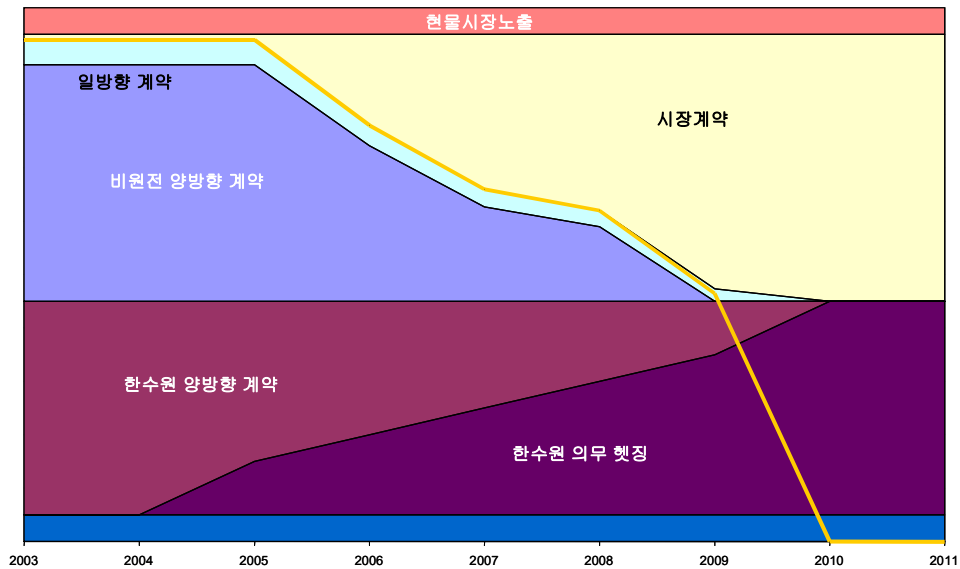


그림 32 PPS&RMS 일정

특히 우리나라의 경우 한수원이 발전량 기준 전체 시장의 40%, 용량 기준

30%를 차지하고 있는 실정이므로 이러한 거대 사업자에 의한 시장지배력 여부도 주요한 감시 대상이 되어야 한다. 시장초기의 시장가격안정 및 발전사업자의 수익안정화 등 다양한 목적을 가지고 도입되는 CRA사에 의해 제안된 장기계약제도의 한 형태인 PPS&RMS 체제는 기본적으로 시장물량의 대부분(95%)을 계약으로 묶고 현물 시장은 수급조절 기능을 담당하게 하는 영국의 NETA 시스템과 유사한 측면이 많다. NETA 시스템 이전 영국의 의무풀(mandatory pool)은 모든 전력이 풀을 통해서 이루어지도록 강제된 시스템이지만 차액정산계약(CfD : Contract for Difference)의 비중이 80-90%에 이르렀고 이로 볼 때 의무풀에서도 거의 대부분의 물량이 계약에 의해서 이루어짐을 보여주고 있다. 이는 전력시장 대부분의 물량을 고정가격으로 장기계약함으로써 변동성을 최대한 억제하는 효과를 가진다. 이를 통해 발전사업자에게는 안정적인 수익원을 확보하고 소비자 측면에서는 확실한 가격에 전기를 구입할 수 있으므로 불확실성을 줄일 수 있다. 이러한 장기계약 체제에서는 계약가격을 정하는 것이 가장 중요한 문제 중의 하나이며 발전사업자로 하여금 충분한 수익성을 확보할 수 있도록 너무 낮지 않게 설정해주는 것이 필요하다.

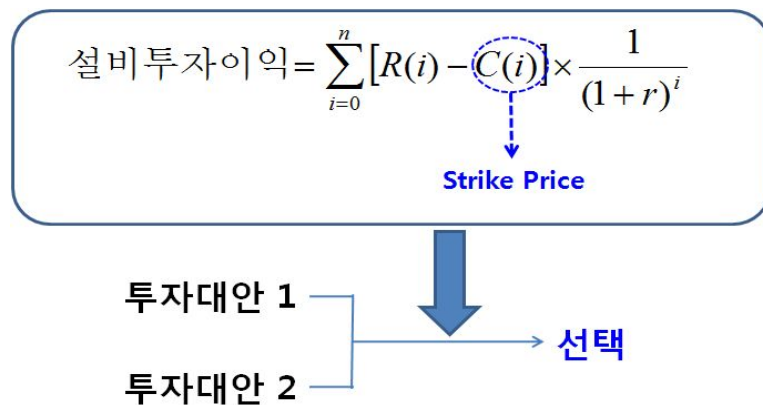


그림 33 리얼 옵션(Real Option)에 의한 건설대안 비교

다양한 발전설비건설대안들을 비교하기 위해 설비건설대안의 수익성을 잠재적인 옵션의 가치로 설정하고 매출 $R(i)$ 를 시장가격, $C(i)$ 를 행사가격으로 하

는 옵션의 한 형태로 정의할 수 있고, 이를 현가 개념으로 환산하여 대안 간 투자가치를 비교할 수 있는데, 이를 리얼 옵션(Real Option)이라고 한다.



그림 34 장기계약의 고정가격 산정

확률과정 시장가격 모델의 또 다른 적용 용도로서는 장기계약을 체결함에 있어서 고정가격을 산정하는데 적용할 수 있다. 공급자와 소비자의 효용을 동시에 극대화할 수 있는 가격 수준을 선택함으로써, 공급자 입장에서는 확실한 수익원 확보를 통해 투자유인을 제공함으로써 설비의 진입을 장려하고, 수요자 입장에서는 불확실성을 완화함으로써 안정적으로 전력을 소비할 수 있는 토대를 마련할 수 있다.

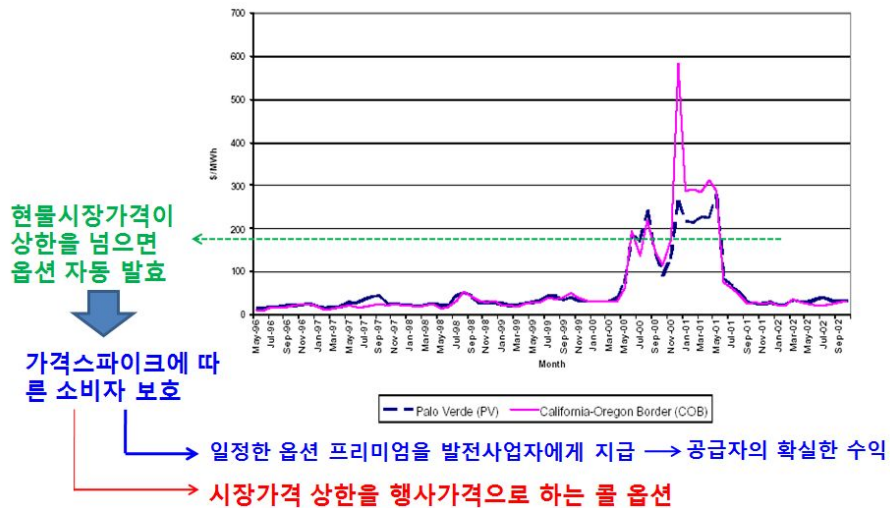


그림 35 가격 스파이크에 대비한 가격상한 설정 및 옵션 개발

또한, 가격 스파이크로부터 소비자를 보호하기 위해 가격 상한(price cap)을 설정하거나, 이를 위한 옵션 상품 등을 개발하는데 적용할 수 있다. 옵션 상품의 경우 소비자는 일정한 옵션 프리미엄을 발전사업자에게 제공함으로써 불시에 발생할지 모르는 가격 스파이크의 부담으로부터 벗어날 수 있고, 발전사업자 입장에서는 확실하고 고정적인 수익원을 확보함으로써 수익 불안정성을 완화할 수 있게 된다.

IX. 결 론

전력시장에서의 시장가격은 전력수급과 시장가격 안정화를 위해 매우 중요한 사안이다. 또한 용량요금(CP)제도의 폐지와 기타 공급예비력확보 제도 등 점차 규제적인 요소를 완화하고 있는 시점에 있기 때문에 전력시장에서의 시장가격을 정확하게 예측하고 그에 따른 전략을 수립하는 일은 시장참여자 및 운영자에게 매우 중요한 작업이다. 전력시장에서는 2가지 주요 의사결정 분야가 있는데, 증장기 설비계획과 단기적인 설비운영에 관한 것이다. 증장기 계획에는 신규설비 투자계획과 예방정비계획이 있으며, 단기 설비운영에는 기동정지계획 및 단기입찰 등이 포함된다.

기존의 상용 시뮬레이터에서 제공하고 있는 방법은 발전자원과 송전자원에 대한 데이터가 모두 필요한 분석적 접근에 의한 최적화 기반 모델이기 때문에 모델 자체는 정교할지 모르나 데이터의 확보가 전제되어야 그러한 모델의 정교함이 결과예측의 정확성으로 연결될 수 있다. 이는 수직통합체제에서나 가능한 일로, 경쟁적 시장에서는 정보의 공유성이 수직통합체제에 비해 훨씬 떨어지므로, 불완전한 정보를 가지고도 정확한 시장가격을 예측할 수 있는 새로운 개념의 방법이 필요하다. 이에 본 논문은 기존의 최적화 기반 모델이 가지는 단점을 극복하고자 확률과정 기반의 모델을 검토하였다. 이러한 확률과정 모델은 이미 금융부문에서 오랜 기간 연구되고 적용되어 왔는데, 이를 전력시장가격모델수립에 적용하였으며, 그로 인해 모든 배타적 상업정보인 타 발전사의 발전비용이나 입찰가격에 대한 정보 없이도 시장가격을 예측할 수 있는 근거를 마련하였다.

기본적으로 공개되는 정보인 전력수요, 설비계획, 평균적인 발전비용 및 가용률에 근거하여 대략적인 기준 발전가격을 예측하고 과거의 실적 데이터로부터 계산된 변동성(분산)을 적용하여, 세부 주기별 가격을 추정하는 개념을 사용하였다. 이를 통해 확률과정론 기반의 가격모델을 유도하고 미래시장가격

예측 및 수익성 분포에 적용할 수 있음을 보였다. 또한, 향후 전력시장이 활성화되었을 때 관련 파생상품을 설계할 수 있는 수학적 모델의 기본 개념을 제안하였다.

참고문헌

- [1] 박종근, 김발호, 박종배, 정도영, 전력산업구조개편 개론, 기초전력공학공동 연구소, 2000, pp.6~7
- [2] 양방향 입찰시장 가격수준 전망 및 발전원별 수익성에 관한 연구 - 중간보고서, 한국전기연구원, 2004.09, pp.91~92
- [3] Electricity Market Complex Adaptive Systems (EMCAS), <http://www.dis.anl.gov/projects/emcas.html>
- [4] Steven E. Shreve, Stochastic Calculus for Finance - Continuous-Time Models, Springer, 2000, pp.85
- [5] 김준현, 황갑주, “대기상태를 고려한 단기부하예측에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 31권 5호, PP.368-374, 1982.
- [6] 고희석, 정재길, “건구온도를 고려한 장기최대전력수요예측에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지 34권 10호, PP.389-398, 1985.
- [7] 박대웅, “전력수요 예측”, 전기 학회지 40권 5호 PP. 18-26, 1991.

Abstract

As the electric power industry has evolved from a vertically integrated scheme into a deregulated electricity market, the operation paradigm of the industry is also changing. The vertically integrated company was only one decision maker to operate the power system, but there comes up many decision makers such as the market operator, generation companies, transmission companies, distribution companies, etc. in the market environment. The market price is the main signal to move the industry in the competitive market while the industry used to be operated based on the objective function of cost minimization in the vertically integrated scheme. The market price is determined by many factors affecting the price and many interactions between market participants, which is the basic information for the generation companies to build their capacity expansion plans and operation schedules.

The current method to forecast the electricity market price is based on optimization models widely used for the cost minimized operation of the power system as stated above. The optimization model is made with a very complex mathematical formulation requiring lots of data sets, which is suitable for the integrated company or the market operator having the full information over the power system. The generation company has a different position because they are not allowed to access the commercial information of other companies. Therefore it is required to take a different approach for forecasting the market price in the market.

This thesis proposes a method of price forecast in a competitive electricity market using both analytic and empirical methods, which is useful for the

generation companies having imperfect information of the power system and market. The market price is formulated with the stochastic process model named as Black-Scholes formular having been applied to the formulation of stock prices in the finance field.