

## 가격변동성 및 비용 최소화측면의 적정전원구성 비교연구

이경진\*, 윤용범\*

\*한국전력공사 경영연구소

### Fuel Mix Comparison from Fuel Price Volatility and Cost Minimization

Kyung-Jin Lee\*, Yong-Beum Yoon\*  
KEPCO Management Research Institute\*

**Abstract** - 국가 경제활동에서의 에너지 역할이 점차 증대함에 따라 이를 안정적으로 확보하는 것이 중요한 과제로 부각되고 있다. 에너지원의 대부분을 수입하고 있는 우리나라의 경우 안정적이고도 저가의 에너지를 확보하는 것은 매우 중요한 문제이다. 전력측면에서의 이와 같은 문제는 적정전원 구성문제로 귀결된다. 이에 대한 개념적 해법으로는 심사곡선법이 주로 사용되고 있으며, 실질적으로는 발전설비의 건설 및 운전기간을 고려한 동태적 최적화기법이 사용되고 있다. 본 논문에서는 투자자산의 포트폴리오 기법에 의한 적정전원 구성을 도출하고 심사곡선법에 의한 결과와 비교하였다.

#### 1. 서 론

세계적으로 1970년까지의 화석연료가격은 타 에너지원에 비하여 상대적으로 저렴했고 수요 관리는 비교적 용이하였다. 또한, 주요 선진국들에서의 전력공급설비는 전력수요를 상회하는 추세였다. 그러나 전력의 편리성으로 인하여 경제활동에서의 전력의 존도가 점차 높아짐에 따라 오늘날, 전력산업에서는 과거에는 경험하지 못했던 많은 이슈들이 부각되고 있다. 정치학적 및 지형학적 영향 등에 의한 연료가격 변동, 전력수요 변동, 그리고 전원설비 투자에 대한 불확실성 증대가 대표적인 예이다. 이와 같은 다양한 변수들에도 불구하고 안정적이고도 경제적으로 전력을 어떻게 확보하여야 하는 것은 국가 에너지 안보차원에서 매우 중요한 문제이다. 이는 중장기적인 관점에서의 적정전원 구성문제로 귀착된다. 기존의 적정전원 구성은 개념적으로 심사곡선법이 주로 사용되고 있는 반면, 실질적으로는 중장기적 관점에서의 전원설비 투자시점 및 운전기간을 고려하여 동태적 최적화 방법(우리나라의 경우 WASP모형) 사용되고 있다. 본 논문에서는 재무분야에서 투자자산별 수익위험성(또는 변동성)을 고려하여 적정 포트폴리오 결정에 사용되는 기법들을 소개하고 이에 의한 적정전원 구성비를 간략히 도출하였다. 향후, 전력산업에서도 기존의 전원계획 모형으로 고려할 수 없는 다양한 불확실성 또는 위험이 점차 증대할 것이며 이에 대한 적절한 고려수단이 필요할 것이다.

#### 2. 본 론

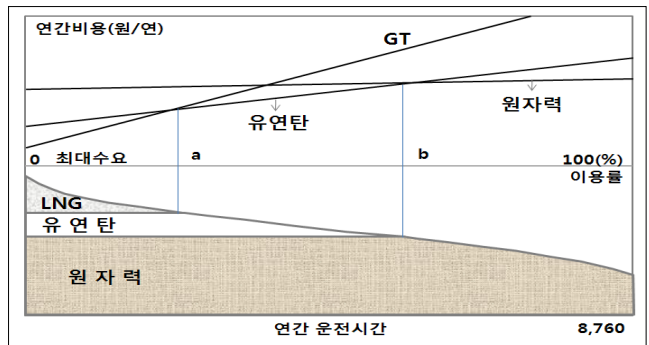
##### 2.1 적정전원구성 방법

적정전원구성을 결정하는 공학적 방법[1]으로는 특정시점을 기준으로 하는 정태적방법(심사곡선법)과 전원설비 투자의 시간적 특성을 반영한 동태적 최적화방법이 있다. 심사곡선법은 적정전원 구성 개념설명에 주로 사용되며 실질적으로는 동태적 최적화 방법이 주로 사용되고 있다. 한편, 재무자산에서 널리 사용되고 있는 다양한 기법들을 응용한 전원설비 구성방법들이 소개[2]되고 있다. 그 중 대표적인 방법들이 Portfolio theory, Real options theory, Diversity(Herfindahl-Hirschman index, Shannon-Weiner index 등)이다. 물론, 이와 같은 방법들은 각각 장단점이 있어 전력설비투자에 특정방법이 적합하다고 할 수 없으므로 이에 대한 보다 깊은 이해가 분석이 필요할 것으로 예상된다, 본 논문에서는 심사곡선법과 상기한 재무자산 설비투자 기법들을 대상으로 기본 개념을 기술하였다.

##### 2.1.1 심사곡선법

특정시점의 수요와 경제적 상황변수 하에서 적정 설비구성의 형태를 개략적으로 파악하는 방법이다. 후보전원의 이용률별 계획발전원가(원/kWh)를 이용하여 적정 운전범위를 작성하고, 이를 이용하여 적정 전원구성을 모색하는 방법으로 Screening Curve Method 라고 한다. 이는 특정년도 최대부하와 부하지속곡

선(Load Duration Curve)으로서 각 전원별 연간 발전비용을 최소화하는 전원별 설비 구성비용을 결정하는 방법으로 기본 개념 도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 심사곡선법에 의한 전원구성

본 방법을 이용하여 적정 전원구성을 결정할 경우, 발전원별 경제적 특성 이외에도 부하지속곡선의 형태가 매우 중요한 역할을 하게 된다. 부하율이 높은 경우 기저부하 발전원의 비율이 비교적 높게 나타나고, 낮은 부하율의 경우에는 첨두부하용 발전원 비율이 상대적으로 높게 나타나게 된다. 그러나 본 방법은 발전설비 투자시점과 같은 동태적 특성이나 설비예비율, 연료비 변동과 같은 변동성을 고려할 수 없다는 한계가 있다.

##### 2.1.2 Portfolio theory[2]

본 이론은 비교적 최근에 전력설비투자에 적용된 반면, 금융분야에서는 오랜 전부터 사용되어 왔다. 확정적인 전원구성보다는 "efficient frontier"라는 일련의 전원구성 집합(set)을 도출하게 된다. 설비투자 주체는 고수익·고위험을 부담하여야 하는 "efficient frontier"를 따라 적정전원구성을 결정하게 된다. 설비투자에 본 이론을 도입한 초기연구중 하나로서 Bar-Lev and Katz(1976)는 미국 전력산업을 대상으로 efficient frontier를 도출하고 이를 실제 전원구성과 비교하였다. 비교결과, 대부분의 미국 전력회사들은 다양한 전원구성을 가지고 있는 반면, 상대적으로 위험한 포트폴리오를 유지하고 있다는 결론을 도출하였다. 최근에는 유럽을 대상으로 본 방법에 의한 적정전원구성 연구를 수행[3]하였으며, 이를 통하여 현재의 전원구성은 efficient frontier 내에 위치한다는 사실을 제시하였다. 본 방법이 과연 전력설비투자문제에 적합한가에 대한 의문이 제기되고 있는데, 전원설비와 금융자산은 특성상 전혀 다른데도 불구하고 본 방법에서 동일시 하는 것은 잘못이라고 주장하고 있다. 금융자산에서는 결정권자가 위험과 수익사이의 가중치를 결정하여야 하는 반면, 전력설비 투자에는 위험과 수익이외에도 많은 요소를 부가적으로 고려하여야 하기 때문이다. 예를들어 전력설비는 투자결정시 운용적인 측면을 고려하여야 하고 또한 전력설비투자는 장기적인 의사결정과정으로서 일단 투자(건설)하고 나면 전력회사와 고객입장에서 막대한 비용을 감수하지 않는 한 되돌릴 수 없다는 것이다. 본 방법과 같이 확률적 기법을 전력계통 설비투자에 적용하기 위해서는 모든 미래의 상정사건들이 예측가능하고 이에 대한 확률을 수치로 나타낼 수 있어야 한다. 그러나 예측불가능 존재하는 한 미래의 상정사건들에 대하여 확률값을 정하는 것이 불가능할 뿐만 아니

라 잠재적인 결과를 추정하는 것조차도 불가능하다. 확률적 기법은 위험을 완화하는 데는 적합할지 모르지만 전력설비투자 문제 특이인 예측불가나 불확실성이 존재하는 경우는 부적합하다는 것이다. 그럼에도 불구하고 일부 전문가들은 본 방법이 전력계통의 신뢰성, 안전성 및 유연성에 부분적으로는 이바지 할 것이라고 주장하고 있다.

### 2.1.3. Real option theory[2]

포트폴리오 이론과 마찬가지로 본 이론도 주로 금융분야에서 적용, 활용되어 왔다. 본 이론은 현금흐름법(DCF, discounted cash flow)에서 고려하지 못하는 투자의 유연성을 고려하기 위한 보조수단으로 사용되고 있다. 현금흐름의 유연성을 고려하는 경우 수익성이 있는 프로젝트들이 DCF에서는 투자 가치가 없는 것으로 나타날 수 있다. 본 이론에 의한 전력설비투자 적용연구로는 Gitelman(2002), Roques(2008), 그리고 Frayer(2001) 등에 의한 발전설비 자산가치 평가, Costello(2005)에 의한 전원설비의 다양성 평가가 있다. 본 방법은 전력설비 투자 결정시 유용한 수단으로 활용될 수 있기 때문에 전력설비 투자적용에 대해서는 대부분 긍정적이나 장점을 가지고 설비투자 정책을 결정할 수 있을 지는 의문으로 평가되고 있다. 본 방법이 실물자산 가치를 고려할 수 있는 방법론 중 가장 유용한 방법이라는 점에서 Gitelman(2002)은 설비투자에서의 본 방법 적용에 대하여 매우 긍정적으로 평가하고 있다. 기대수익만에 의하여 설비투자를 하는 경우 준 적정의 전원구성을 야기할 수 있는데 본 방법을 이용하는 경우 설비투자의 유연성을 고려할 수 있어 이와 같은 오류를 피할 수 있다는 것이다.

### 2.1.4. Diversity[2]

Stirling(1998)은 “다양성(Diversity)은 정해진 집합에서 구성요소들의 비율 간 상관관계를 나타낸다”고 정의하고 있다. Diversity는 바람직하지 못한 결과가 초래하는 악영향을 방지해 줄 수 있는 수단으로 평가되면서 경제학 분야에서 폭넓은 관심을 받고 있다. 또한, 다양성(Diversity) 개념을 다양한 학문분야에 적용하려고 노력했지만 Diversity에 대한 이해부족으로 대부분 실패했다. 일부는 Diversity개념을 위험에 대한 헛수단으로 사용할 수 있다고 제안했지만 Stirling은 예측불가(Ignorance) 상황 외에는 적용할 수 없다고 주장하고 있다. Stirling에 의하면 위험(Risk), 불확실성(Uncertainty), 그리고 예측불가(Ignorance)는 전혀 다른 의미를 가지므로 서로 다르게 대응하여야 한다고 주장하고 있다. Stirling은 예측불가(Ignorance)를 결정권자가 “일련의 결과들에 대하여 확률을 할당할 수 없을 뿐만 아니라 가능한 결과 그 자체도 알 수 없는 상황”으로 정의하고 있다. 전력설비 투자문제에는 높은 불확실성(Uncertainty)과 예측불가(ignorance) 특성을 가지므로 전력설비 투자문제에 다양성(Diversity)이 적절하다고 주장하고 있다.

### ○ 허핀달허쉬만지수(Herfindahl-Hirschman index)

본 지수(HHI)는 시장집중도를 나타내며 Diversity 지수로 사용된다.

$$HHI = \sum_i p_i^2 \quad (1)$$

여기서  $p_i$ 는 대안  $i$ 의 기여비율을 나타내며 HHI가 낮을수록 낮은 시장지배력과 높은 다양성을 나타낸다. HHI가 높으면 그 반대이다. Real option 이나 포트폴리오 이론과는 달리, 본 방법은 확률적 기법들의 함정을 피할 수 있다.

### ○ Shannon-Weiner index

본 지수는 다양성을 측정하는 지수로서 경제학, 생물학 등 많은 분야에서 적용이 가능하며 계산식은 다음과 같다.

$$S_{-WT} = - \sum_i p_i \ln(p_i) \quad (2)$$

여기서,  $p_i$ 는 대안  $i$ 의 기여비율을 나타내며 지수값이 높을수록 다양성이 높다는 것을 의미한다. 본 지수의 최대값은 각 대안의 기여비율이 동일할 경우이며 예를 들어 가능한 전력공급 대안이 100일 경우  $p_i = 0.01$ 이 되며  $S_{-WT}$ 는 4.6으로 최대값을 가진다.

## 2.2 적정전원구성 비교

### 2.2.1 심사곡선법에 의한 적정전원 구성

- 전원별 비용데이터 : 관련데이터는 다음과 같이 가정하였다.

구 분	원자력	석탄	LNG
고정비(원/kWh)	34.5	17.6	33.3
변동비(원/kWh)	3.20	32.4	118.4

- 전력수요데이터 : 최대수요 및 부하율을 다음과 같이 가정하였다.

종수요량	최대수요	부하율
385,070GWh	62,794MW	76.6%

- 적정전원구성 : 심사곡선법에 의한 도출결과는 표3과 같다

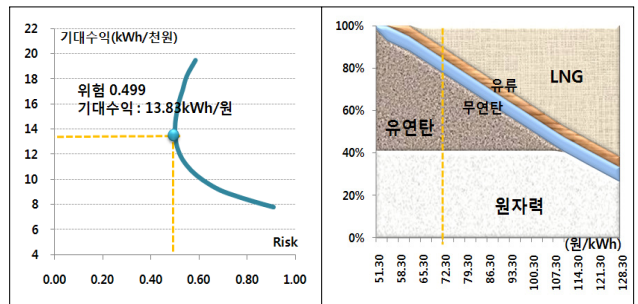
구 분	원자력	석탄	LNG
구성비	44.9%	35.6%	11.7%

### 2.2.2 포트폴리오기법에 의한 적정전원구성

- 발전원별 변동율 및 비용 : 연료원별 변동율 및 발전비용은 다음과 같이 가정하였다.

구 분	원자력	석탄(유연탄)	LNG
연료비 변동(%)	4.0	8.4	13.8
발전비용(원/kWh)	38.07	58.69	161.78

- 적정전원구성 : 포트폴리오기법에 의한 적정전원구성 도출시 원자력 100% 등 특정 전원만으로 구성되는 비현실적 전원구성 결과를 방지하기 위하여 전원별 상·하한을 설정하였으며 결과는 그림2와 같다.



<그림 2> 변동성 대비 기대수익 및 전원구성

### 2.2.3 적정전원구성 비교

심사곡선법과 포트폴리오에 의한 도출결과는 다음과 같다. 전원구성비율에서 수%의 차이를 보이고 있다. 또한 본 결과는 일정한 가정을 전제로 도출되었다는 한계가 있으며 실제의 적정전원 정책, 즉 제반 정책적, 기술적 요소 및 설비투자의 동태적 특성을 고려한 전원구성결과와는 많은 차이가 있을 것으로 판단된다.

구 분	원자력	석탄	LNG
심사곡선법	44.9%	35.6%	11.7%
포트폴리오법	41.0%	39.9%	7.1%

## 3. 결 론

에너지의 원의 대부분을 수입하고 있는 우리나라의 경우 안정적이고도 저가의 에너지원을 확보하는 것은 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 재부분야에서 투자자산별 수익위험성(또는 변동성)을 고려하여 적정 포트폴리오 결정에 사용되는 기법들을 소개하고 일정한 가정을 전제로 전원 구성비를 간략히 도출하였다. 향후, 전력산업에서도 기존의 전원계획 모형으로 고려할 수 없는 다양한 불확실성 또는 위험이 점차 증대할 것이며 이에 대한 추가적 검토수단이 필요할 것으로 예상된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, “전력경제론(발전설비투자이론)”, 1995.12
- [2] Emily A. Hickey, J.Lon Carlson, David Loomis, “Issues in the determination of the optimal portfolio of electricity supply options”, Energy Policy 38 (2010), 2198-2207
- [3] Shimon Awerbuch with Martin Bergerr, “Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-Making”, IEA/EET Working Paper