

우리나라 전원믹스의 경제성 및 공급안정성에 관한 연구

옥기열
전력거래소

김용준
전력거래소

김상주
전력거래소

Analysis on Economics and Security of Korean Generating Mix

Ki-Youl Ok
Korea Power Exchange

Yong-Joon Kim
Korea Power Exchange

Sang-Ju Kim
Korea Power Exchange

Abstract - 우리나라의 현행 전원믹스는 경제성의 측면에서 상당히 왜곡된 것으로 언급되고 있으며, 전력시장의 기저발전기에 대한 규제상한가격은 이를 간접적으로 입증하는 근거라 할 수 있다. 균등화 발전원가를 이용하여 장기한계비용을 도출하고, 이를 부하지속곡선에 대입하여 산출한 경제적 전원믹스는 원자력 발전용량의 대폭적인 증가의 필요성을 보여준다. 이는 원전이 기저전원으로 경제성을 가지는 측면이 있지만 무엇보다도 우리나라의 높은 부하율(편평한 부하지속곡선)에 기인하고 있다. 이산화탄소 배출비용의 부과는 원전의 경제적 우위를 확장시키는 반면 전원다변화를 현격하게 축소시키는 결과를 가져와 정책목표간 조율이 필요함을 시사한다. 균등화 발전원가는 전력시장체제의 가격 및 수익에 대한 리스크를 효과적으로 반영하지 못하므로 포트폴리오 이론 및 실물옵션 이론 등을 활용한 경제성 평가방법론의 개발이 향후 과제로 제기된다.

등화 발전원가는 발전기별 장기한계비용을 순발전량에 대한 이용률의 함수로 표현한 것으로 해석할 수 있다.

$$LGC = FC_{CF} + VC = LRMC$$

2.2 전원믹스의 경제성

균등화 발전원가는 이용률(CF)의 함수이고 발전기의 이용률은 계통수요에 의해 결정되므로, 아래와 같이 이용률에 따른 최소의 발전원가 및 부하지속곡선을 활용하여 계통전체의 장기한계비용과 경제적 전원믹스를 간략하게 도출할 수 있다. 이와 같은 장기한계비용과 경제적 전원믹스 대비 현행의 전력시장가격 및 전원믹스를 비교함으로써 경제성의 왜곡수준을 대략적으로 가늠할 수 있다. 여기서 발전기의 고정비(건설비 및 운전유지비)는 3차 수급기본계획의 적용기준을 바탕으로 GT의 경우는 전력시장의 용량가격 산정자료를 활용하였다. 연료비는 2006년 전력시장 비용평가 자료를 (연간)평균하여 산정하였다.

1. 서 론

우리나라의 전원믹스는 경제성의 측면에서 상당히 왜곡되었다는 평가가 일반적이다. 전력시장에서의 기저발전기에 대한 규제상한가격은 이에 대한 입증사례라 할 수 있다. 즉 전력시장의 한계가격 대비 전기소비자의 평균가격의 편차로 인해 불가피하게 기저발전기의 초과수익을 제한하는 것이다. 본 논문은 이러한 문제인식을 바탕으로 현행 전원믹스가 균등화 발전원가에 의한 경제적 전원믹스와 대비하여 얼마나 왜곡되어 있는지 살펴보고자 한다. 아울러 전원공급의 경제성은 공급안정성 및 친환경성을 전제하여야 하므로, 상호간의 영향을 살펴보고 정책적 시사점을 도출하고자 한다. 한편 전력시장체제에서의 균등화 발전원가에 의한 경제성 평가의 한계를 극복하기 위한 노력들을 간단히 소개하고 이를 향후과제로 제시하고자 한다.

2. 전원믹스의 경제성 평가

2.1 균등화 발전원가

균등화 발전원가(Levelized Generation Cost)는 발전기 운영기간 전체에 걸쳐 발생하는 비용과 발전량을 화폐의 시간적 가치를 고려하여 할인하여 아래와 같이 산정된다.[2]

$$LGC = \frac{\sum_{t=1}^n (I_t + M_t + F_t)(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^n E_t(1+r)^{-t}}$$

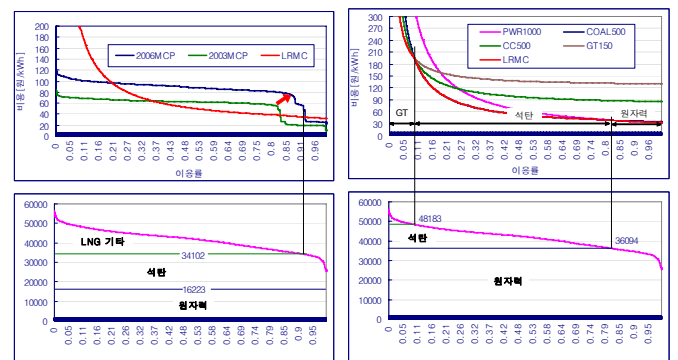
여기서 I_t , M_t , F_t 는 각각 발전기 운영기간 전체에 걸쳐 발생하는 투자비(건설, 보강 및 철거비), 운전유지비 및 연료비를 의미한다. r 은 할인율을 의미하는데 결과적으로 균등화 발전원가는 소비자가 발전기 운영기간 동안 투자보수에 의거하여 투자자에게 지불할 평균비용을 의미하게 된다. 그리고 E_t 는 소내소비량을 제외한 송전단 기준의 발전량이다.

만일 연도별 발전량(즉 이용률과 소내소비율)이 연도별 균일하고, 철거비를 매년 기금적립 형태의 고정운전비에 포함시킨다면 균등화 발전원가는 다음과 같이 간략하게 표현된다.

$$LGC = \frac{(CC \times CRF) + M}{8760 \times CF \times (1 - AUF)} + \frac{F}{(1 - AUF)}$$

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

여기서 CC 는 건설비(원/kW), CRF 는 자본회수계수, M 는 운전유지비(원/kW-년), CF 는 이용률, AUF 는 소내소비율, F 는 연료비(원/kWh)를 의미한다. 발전기 변동비는 대부분 연료비로 이루어지므로 균



〈그림 1〉 현행 전원믹스와 경제적 전원믹스의 비교

분석결과는 LNG 가스복합은 석탄 및 원자력에 비해 경제성이 거의 없으며, 오히려 침투부하 시점에는 가스터빈을 운전함이 유리하다는 것을 보여준다. 아울러 원자력의 경제적 운전대역이 석탄에 비해 상대적으로 좁음에도 불구하고 우리나라의 높은 부하율(편평한 부하지속곡선)은 원자력 발전량의 증가를 유발함을 알 수 있다. 경제적 전원믹스 대비 현행 전원믹스는 원자력이 매우 부족하여 주로 가스복합이 시장가격을 결정하는 가격지속곡선을 나타낸다. 또한 2003년 대비 2006년은 연료비의 상승 및 전원믹스 왜곡의 심화로 전체적인 가격지속곡선이 우상향하고 있음을 나타내고 있다.

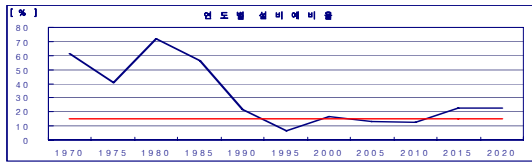
3. 전원믹스의 안정성 평가

3.1 공급안정성

공급안정성은 설비적정성(Supply Adequacy), 전원다변화(Fuel Diversity) 및 계통신뢰도(System Reliability)로 범주화할 수 있다. 최근에는 물리적인 공급측면은 물론 가격측면도 고려하여 가격수용성(Price Affordability)을 포함하여 고려하는 경향도 있다. 계통신뢰도는 단기 계통 및 설비운영 측면에 관한 것이고 가격수용성은 시장설계와 연계되므로, 아래에서는 설비적정성 및 전원다양성으로 논의를 한정하며 송전측면은 고려하지 않는다.

3.2 발전적정성

발전적정성은 계통수요를 충분히 공급하기 위한 발전용량 확보를 의미하며, 우리나라는 공급지장확률(LoLP) 0.5일/년을 만족하기 위해 설비예비율 15%수준이 요구되는 것으로 평가된다.[3]



〈그림 2〉 우리나라의 설비예비를 실적 및 전망

우리나라의 설비예비율은 2000년 이전까지 과다에서 과소수준으로 등락이 심하였으나, 최근 15%내외로 안정화되고 있다. 제3차 전력수급기본계획에 의하면 2020년까지 적정한 발전적정성(설비예비율)을 시현할 것으로 예상되고 있다.

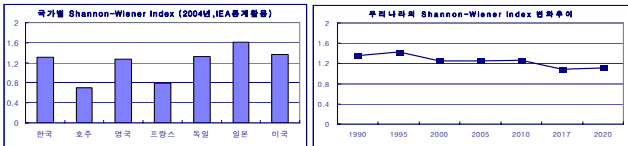
3.3 전원다변화

전원다변화는 다양성(variety), 균등성(Balance) 및 차별성(Disparity)을 포함하는 개념으로, Shannon-Wiener Index가 이를 가장 평가할 수 있는 지표로 알려져 있다.[4-6]

$$H' = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$$

여기서 p_i 는 전원별 발전점유율을 나타낸다.

IEA('04)의 발전통계를 활용한 Shannon-Wiener Index에 의하면 우리나라는 일본보다는 못하지만 영국, 독일, 미국과 유사하고 호주, 프랑스보다는 훨씬 양호한 수준을 나타낸다. 즉 우리나라의 전원다변화 추세 및 전망은 비교적 양호한 수준을 나타낸다고 평가할 수 있다. 그러나 발전비용 및 탄소배출비용을 고려하여 전원믹스를 경제적으로 구성할 경우에는 전원다변화가 현격하게 저하되며 이는 아래에서 살펴보고자 한다.

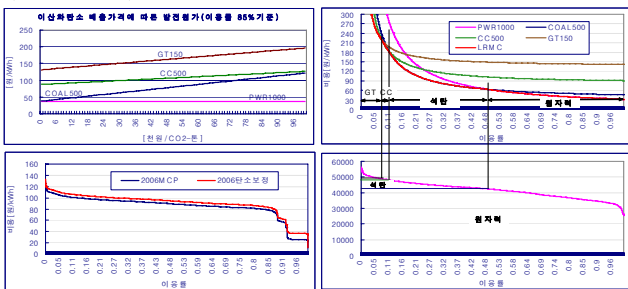


〈그림 3〉 Shannon-Wiener Index의 산출결과

4. 탄소가격을 고려한 전원믹스

4.1 탄소가격을 고려한 경제적 전원믹스

이산화탄소 배출규제가 전원별 경제성에 끼칠 영향을 분석하기 위해, 각각의 발전원이 85%의 이용률로 운전된다는 전제하에 이산화탄소 배출비용을 탄소세의 형태로 발전비용에 가산하였다. 이산화탄소 배출비용을 증가함에 따라 원자력의 경제성 더욱 커지게 되며, 석탄과 가스복합의 비용격차는 줄어들지만 상호간 경제적 우선순위가 여전히 유지될 것으로 나타났다. 아울러 제3차 전력수급기본계획에서 적용한 이산화탄소 배출비용 13,000(원/CO₂-톤)을 균등화 발전원가에 가산하여 부하수준에 따른 경제적 전원믹스를 도출하면 원자력 일변도로 전원이 구성되는 결과를 받게 된다.



〈그림 4〉 탄소가격을 고려한 경제적 전원믹스

한편 탄소가격을 고려한 경제적 전원믹스는 전체적인 이산화탄소 배출량을 저감하게 되겠지만, 발전비용에 탄소배출비용을 가산하는 경우 전력시장의 계통한계가격(SMP)을 5~10(원/kWh)정도 증가시키는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 시장가격 및 소비자요금에 대한 영향을 고려한 정책수단의 강구가 필요할 것이다.

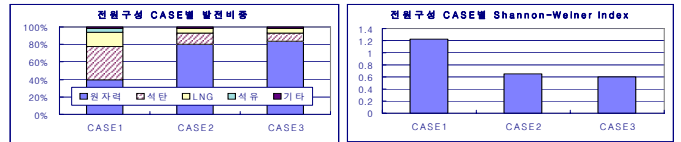
4.2 탄소가격에 따른 전원다변화

균등화 발전원가에 의한 경제성 위주의 전원믹스가 공급안정성 특히 전원다변화에 끼치는 영향을 살펴보기 위해 아래의 3가지 Case에 대한 Shannon-Wiener Index를 살펴본다.

Case1: 현행('06년) 전원믹스에 따른 발전점유율 기준

Case2: 발전비용만을 고려한 전원믹스에 따른 발전점유율 기준

Case3: 이산화탄소 배출비용을 가산한 전원믹스에 따른 발전점유율 기준



〈그림 5〉 전원믹스 Case별 Shannon-Wiener Index의 비교

현행 전원믹스 대비 균등화 발전원가에 의한 경제적 전원믹스는 경제성을 강화하지만, 원전의 비중증가와 타 전원의 비중감소로 Shannon-Wiener Index가 현격하게 감소하는 결과가 된다. 균등화 발전원가에 이산화탄소 배출비용을 가산할 경우에는 Shannon-Wiener Index의 추가적인 소폭 감소를 가져오게 된다.

5. 한계 및 향후과제

본 논문은 균등화 발전원가에 따른 장기한계비용을 정태적으로 주어진 부하지속곡선에 대입함으로써 경제적 전원믹스를 도출하였다. 그러나 실제통의 발전기의 투자비, 운전비 및 투자보수의 안정적 보장은 총괄원가주의에 의한 규제체계에서나 가능하며 전력시장체계에서는 시장가격의 변동성 및 발전기의 가용여부에 따라 수입의 불확실성이 높기 때문이다. 균등화 발전원가 방법론의 한계를 극복하기 위한 대안을 대략 3가지가 논의되고 있다. 먼저 연료비 비중이 높은 가스전원 대비 투자비 비중이 높은 원자력 및 석탄전원의 높은 전력시장 리스크를 감안한 할인율의 차등적용이 하나의 방법이 될 수 있다.[2,7] 한편 Awerbuch 등은 동일한 수익에 대한 변동성의 최소를 추구하는 포트폴리오 이론(또는 CAPM)을 발전경제성 평가에 적용하여, 투자비가 높지만 연료비가 없는 신재생전원이 전체 발전비용의 변동성을 억제하므로 투자의 정당성이 확보된다고 주장한다.[8-9] 반면 Frayer 등은 실물옵션을 발전경제성 평가에 적용하여 가스전원과 같은 첨두발전기의 유연한 운전특성이 전력가격과 가스가격의 차이를 활용한 옵션가치를 가지므로 경제성이 높다고 주장한다.[10]

6. 결 론

제3차 전력수급기본계획의 고정비 및 전력시장의 변동비를 바탕으로 산정한 장기한계비용에 의하면, 원자력의 부분적인 경제적 우위가 평평한 부하지속곡선(높은 부하율)과 결합함으로써 현행 전원믹스 대비 원자력 위주의 전원믹스로 재편되어야 함을 보여준다. 한편 현행 전원믹스는 발전적정성 및 전원다변화 측면에서 양호한 수준이지만 원자력 위주의 경제적 전원믹스가 이루어지면 전원다변화의 희생을 불가피할 것으로 예상된다. 아울러 이산화탄소 배출비용을 고려한 경제적 전원믹스는 원자력의 발전비중을 더욱 확장시킴으로써 이산화탄소를 저감효과에는 기여하게 되겠지만 전원믹스의 획일화를 심화시키게 된다. 요컨대 전원믹스의 경제성과 이산화탄소 배출억제를 목표로 하는 친환경성의 목표는 조화될 수 있지만, 이러한 경제성과 친환경성은 공급안정성 특히 전원다변화 확보와 상충되는 결과를 받게 된다. 따라서 정부의 전력정책이 일정수준의 전원다변화를 추구할 경우에는 원자력의 발전비중이 적절하게 제한되어야 할 필요가 있다. 다만 이를 위한 전원다변화의 평가지표와 목표범위를 투명하게 제시할 필요가 있을 것이다. 한편 전력시장체제에 대한 발전경제성 평가를 위해 제기되고 있는 포트폴리오 이론 및 실물 옵션 이론을 우리나라에 적용하기 위한 추가적인 연구가 향후과제로 제기된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, "에너지비전 2030", 2006. 11. 28
- [2] IEA/NEA, "Projected Costs of Generating Electricity", 2005
- [3] 산업자원부, "제3차 전력수급기본계획", 2006. 12. 12
- [4] Stirling, A, "On the Economics and Analysis of Diversity", 1999
- [5] Jansen J, "Designing Indicators of Long-term Energy Supply Security", January 2004.
- [6] DTI, "UK Energy Sector Indicator 2006", 2006
- [7] 지속가능발전위원회, "제3차 전력수급기본계획(안) 검토결과", 2006. 11
- [8] Awerbuch, S, "Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-Making", February 2003
- [9] Jansen, J, "Application of portfolio analysis to the Dutch generating mix", February 2006
- [10] Frayer, J, "What is it worth? Application of real options theory to the valuation of generation assets", October 2001