

환경요소를 고려한 발전설비의 경제성 평가에 관한 연구

정석재* · 송일윤* · 김경섭* · 박진원**

Economic Analysis of Plant Utilites Under Environment Factor

Jeong Suk jae · Song Il Yoon · Kim Kyung Sup · Pak Jin Won

Abstract

경제성장과 더불어 발생하는 환경오염물질 배출의 증가로 인해 이를 규제하려는 세계적인 동향이 강화되어 이러한 환경문제를 경제 내적인 문제로 발전하고 있다. 특히 전력부문에 있어서 여러 가지 투자대안들이 환경에 미치는 영향을 고려할 경우, 각 대안들이 전력을 생산하기 위해 필요한 비용은 사회적 비용을 고려치 않는 사적인 비용과 커다란 차이가 생길 수 있다. 이에 본 연구에서는 균등화발전 원가법으로 유연탄과 LNG화력 발전의 경제성을 분석하였는데, 환경 규제상황에서 발전원가 평가를 위해 저감설비 도입비용, 탄소세, 연료비 인상, 할인을 변동에 따른 경제성 비교를 통하여 유연탄 및 LNG발전의 발전원가를 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 민감도 분석을 통해 비교하였다.

Key Words: Economic Analysis, Plant Utilites Estimation, Simulation Modeling

1. 서론

경제가 성장함에 따라 전력수요가 급증하고 있으며 국민복지 향상이라는 측면에서도 발전부문의 역할이 점차 증대되어 가고 있다. 이에 반해 경제성장과 더불어 발생하는 환경오염물질의 배출이 증가되어 지구환경은 점차 악화되어 환경오염문제는 현재 및 인류의 생존과 관련해서 전세계적인 문제로 대두되었으며, 이를 규제하려는 세계적인 동향의 강화가 나타나고 있다. 특히 기후변화협약의 체결로 지구온난화 문제가

대두되고 이산화탄소 규제가 더욱 강화되면서 발전원가 산정시 환경비용을 포함한 사회적 비용을 포함시켜야 할 것이며, 환경에 대한 영향을 고려한 발전원가 계산으로 경제성을 평가하는 것이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 화력발전설비 중 향후 건설이 예상되는 석탄 및 LNG 발전설비의 경제성 평가를 위해 환경요소를 고려하는데 있어서 CO₂의 배출에 따른 탄소세 부과를 통한 방식으로 환경요소를 경제적 가치로 전화하여 경제성 분석을 수행하고, NO₂의 경우는 저감기술 설비비용을 포함하여 경제성분석을 실시하였다. 본 연구의 구성은 2장에서 발전원가 산정의 위한 구성요소를 설명하고, 3장 발전비용 산정모형을 구성하고, 4장에서 결과를 분석하고, 끝으로 5장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

* 연세대학교 산업시스템공학과

** 연세대학교 화학공학과

*** 본 연구는 「기후변화 원인물질 저감기술 평가시스템」 과제로 수행되었음

2. 발전원가 구성요소 산정기준

발전원가는 전력이 송전계통에 연결되는 지점까지의 비용으로 보통 건설비, 운전유지비, 연료비 등이 포함되며, 고정비원가와 변동비 원가로 구분되어진다.

2.1.1. 고정비 산정기준

고정비 원가는 발전량의 증감에 관계없이 발전설비에 대한 총투자비에 따라 항상 고정적으로 발생하는 비용으로, 자본비 감가상각비, 보험료, 제세금등으로 구성된다.

자본비는 자본회수계수와 감가상각비에 의해 구할 수 있다.

$$CRF = \frac{(1+i)^N \times i}{(1+i)^N - 1}$$

$$D = 1 / N$$

$$COM = CRF - D$$

i: 할인율 *N*: 발전소 수명주기 *CRF*: 자본회수계수 *D*: 감가상각율 *COM*: 자본비율

2.1.2. 운전유지비 산정기준

본 연구에서는 실험대상 발전소를 기준으로 운전유지비에 물가지수를 적용 산출한 금액을 초기 투자비로 나누어 운전유지비를 구한다.

$$\text{운전유지비율} = \frac{m}{I} \times 100(\%)$$

m: 운전유지비율 *I*: 초기투자비

2.1.3. 연료비 산정기준

본 연구에서는 열소비율 곡선법을 이용하여 계산하였는데, 다음의 수식과 같다.

$$\text{연료비} = \text{열소비율} \times \text{발전량} \times \text{열량단가}$$

2.1.4. 발전원가 산정기준

매년 비용이 변화하고 발전량이 서로 다른 대안간 비교를 위해서 년도별 불규칙하게 발생하

는 비용과 발전량을 균등하게 증가화할 필요가 있는데, 이렇게 산출된 비용과 발전량을 이용하여 발전원가를 산출하는 방법을 균등화 발전비용법이라고 한다.

균등화발전원가 =

$$\frac{\sum_{n=1}^N (c + m + f) \times (1 + e)^n \times CRF}{\sum_{n=1}^N \{Gn \times (1 - Ap) \times Cf \times H\} \times (1 + r)^n}$$

c: 고정비 *m*: 운전유지비 *f*: 연료비

Gn: 시설용량 *Ap*: 발전소내 소비율

Cf: 설비이용률 *H*: 발전시간 *n*: 가동년도

N: 수명기간 *e*: 물가상승률 *f*: 할인율(%)

본 연구에서는 발전원가 산정비 고정비 부분과 변동비 부분으로 나누어서 계산하였다. 다음의 수식은 발전원가 산정식이다.

발전원가 = 고정비 + 변동비

$$= \frac{I \times Fx}{Gn \times H \times Cf \times (1 - Ap)} + Hr \times fp \times G$$

I: 총건설비 *Fx*: 고정비율

Gn: 시설용량 *H*: 발전시간

Cf: 설비이용률 *Ap*: 발전소내 소비율

Hr: 평균열효율 *fp*: 연료비 *G*: 발전량

2.2. 환경요소 산정

2.2.1. NO₂ 저감비용

NO₂ 저감비용은 기본적으로 OECD/IEA의 "Emission Controls"에 의한 값을 인용하였다.

2.2.2. 탄소세 적용

〈표 1〉 연료의 성분

구분	성분 조성			발열량 (kcal/kg)	열소비율 (kcal/k조)
	탄소	수소	기타		
LNG	75.6	24.4	0.1	13000	1740
유연탄	69.0	4.3	26.7	6300	2174

자료원 : 한국전력공사 "GR에 대한 전력대응방안"

위의 표는 탄소세를 계산하기 위한 각 연료별 성분, 발열량, 열소비율 자료를 보여주고 있다. 각 연료별 탄소세 계산은 단위당 탄소세 * 발열량 * 열소비율로 계산되어진다.

3. 발전 비용 산정 모형 및 분석

3.1 모형의 구성

시스템 다이내믹스 툴로 잘 알려진 Stella 5.0을 이용하여 아래의 모형을 구성하고 유연탄과 LNG의 경제성 분석을 수행하였다. 유연탄과 LNG 화력의 경제성 분석을 위한 구성요소와 관련 인자들의 다이어그램을 다음 그림에서 표현하였다.

발전원가는 발전비용을 전력량으로 나누어 계산하게 되며, 고정비, 연료비, 변동비, NO₂ 처리비용, 탄소세로 구성되어진다.

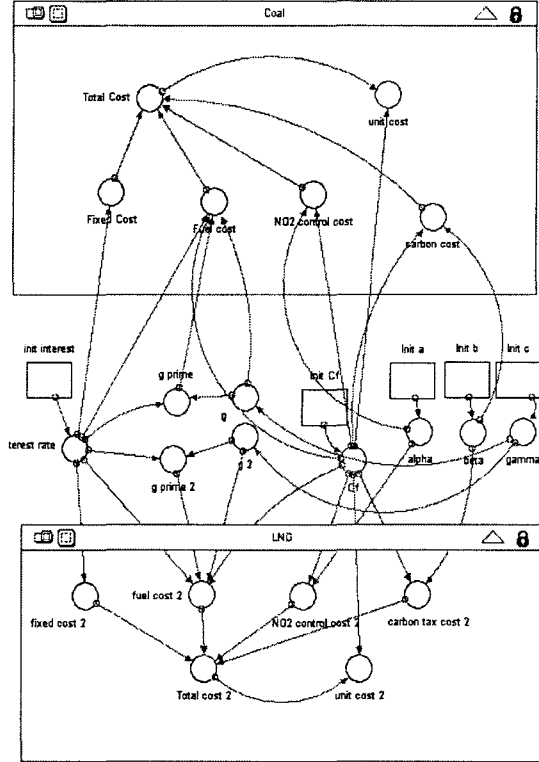
- 1) 고정비는 할인율과 초기투자비로 계산한다.
- 2) 연료비는 연료비 상승이 등비급수로 변하므로, 등비급수 변화율과 등비자본계수의 이차율이 필요하며, 할인율과 이용율로 계산한다.
- 3) NO₂처리비용은 NO₂처리기준 대비 비율과 가동율로 계산한다.
- 4) 탄소세는 이용율과 탄소세 기준비용대비 비율로 계산한다.

3.2 모형의 수식

3.2.1 고정비

초기투자비 * (고정비율+운전유지비율)로 계산되며, 고정비율은 자본회수 계수와 법인세 고정비율의 합으로 표현되므로,

고정비용 = 초기투자비 * (자본회수계수+법인세 고정비율+운전유지비율)로 표현될 수 있다.



〈그림 1〉 발전원가 산정모형

3.2.2 발전량

연간 발전량은 발전소내 사용한 양을 제외한 나머지로 계산되므로, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{발전량} = \text{연간 가동시간} * \text{시설용량} * (1 - \text{자체 소비율}) * \text{이용률}$$

3.2.3 연료비

기본적으로 연료비는 열량단가 * 열소비율 * 발전량으로 계산되어진다. 하지만 연료비는 매년 인상되므로, 매년 다른 연료비가 책정된다.k 하지만 본 연구에서의 균등화 발전원가는 매년 똑같이 비용이 발생한다고 가정하므로, 현재 가격을 연가로 환산해야 한다.

따라서, 열량단가/(1+인상률) * 등비지불계수 * 자본회수계수 * 열소비율 * 발전량으로 계산한다.

3.2.4 NO₂ 저감설비 비용

NO₂ 처리비용 * 발전량 * (1-자체 소비율)로 간단하게 계산할 수 있다.

3.2.5 탄소세 비용

탄소세 비용도 NO₂ 저감기술 비용과 마찬가지로, 자체 소비율을 포함하지 않은 원래 발전량으로 계산하여야 한다.

그 식은 아래와 같다.

$$\text{탄소세 비용} = \text{단위당 탄소세} * \text{발전량} / (1 - \text{자체 소비율})$$

3.2.6 전체 발전비용

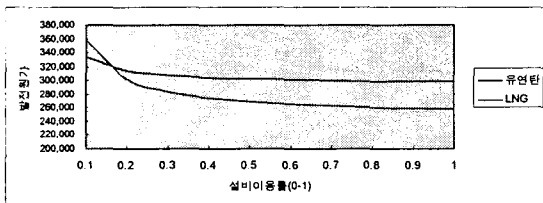
발전비용은 고정비, 연료비, NO₂ 저감비, 탄소세로 구성되어진다. 또한 발전원가는 발전비용을 발전량으로 나누어 계산한다.

4. 결과 분석

설비이용률이 전력 수요에 따라 변동이 심하며, 탄소세는 향후 톤당 비용의 가치가 변한다고 가정하고 탄소세 및 설비이용률에 따른 시나리오 분석을 실시하였다.

4.1 설비이용률의 변화에 대한 분석

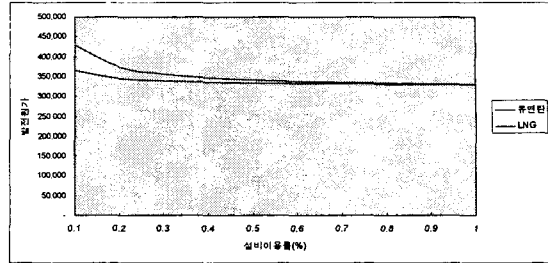
1) 탄소세를 제외한 경우



<그림 2> 설비이용률에 따른 분석(탄소세제외)

탄소세가 없는 경우는 설비 이용률이 약 17%를 상회할 경우, 유연탄의 경제성이 유리함을 알 수 있다.

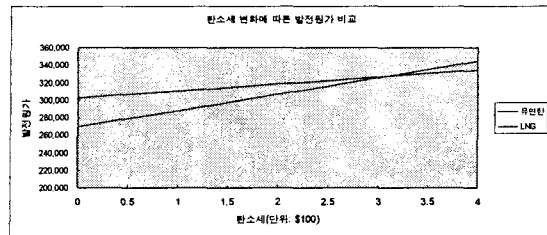
2) 탄소세를 \$117로 부여한 경우



<그림 3> 설비이용률에 따른 분석(탄소세증가)

탄소세가 점차 강화되면, 점차로 LNG발전원가 유연탄 발전원가를 완전 dominate됨을 알 수 있다.

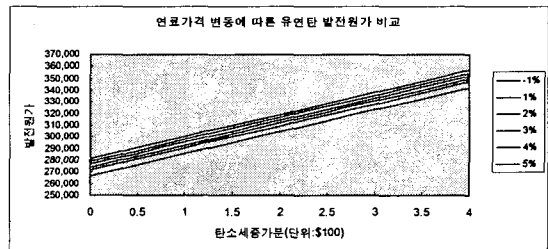
3) 탄소세 변화에 따른 분석



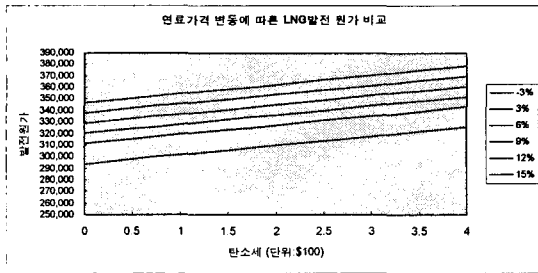
<그림 4> 탄소세 변화에 따른 분석

탄소세를 \$0에서 \$400까지 변화시켜 분석한 결과 약 \$300이상 부과한 경우 LNG가 유리해지는 탄소세 분기점이 발생함을 알 수 있다.

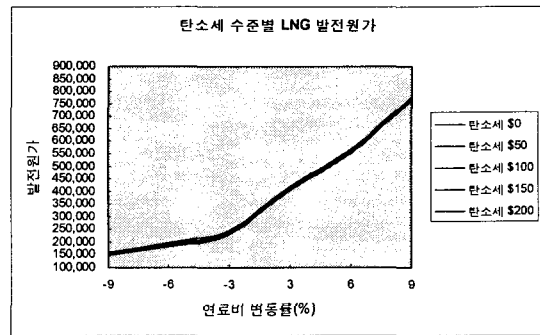
4) 연료비 변동에 따른 민감도 분석



<그림 5> 유연탄화력의 연료비 인상



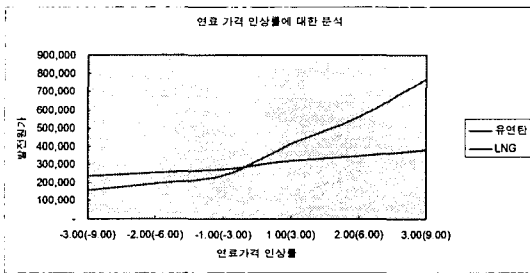
〈그림 6〉 LNG화력의 연료비 인상



〈그림 9〉 탄소세 수준별 LNG 발전원가

5) 연료가격 인상을 변화에 따른 분석

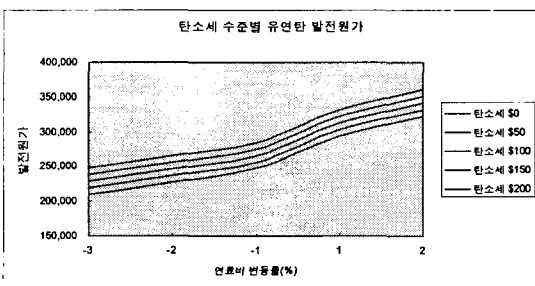
탄소세를 \$117, 이용률을 50%에서 연료가격 인상에 따른 발전원가 비교에서는 연료가격이 인상되면 LNG가 불리하게 나타났다.



〈그림 7〉 연료가격 인상을 변화에 따른 분석

6) 연료가격 변동에 따른 발전원가 민감도 분석

탄소세를 \$0에서 \$200까지 범위에서 연료가격을 인상률에 따른 발전원가 민감도 분석을 수행한 결과이다.



〈그림 8〉 탄소세 수준별 유연탄 발전원가

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 균등화 발전원가법을 이용하여 유연탄과 LNG 화력 발전간의 경제성을 분석하였다. 환경요소를 고려하여 기존의 발전설비 경제성 평가에서 이산화탄소 배출량을 규제하는 탄소세를 도입하여, 저감기술 도입비용, 탄소세, 연료비, 할인율 변동에 따른 경제성 비교를 통해 유연탄과 LNG발전원가를 시뮬레이션에 의한 민감도 분석을 수행하였다. 이는 향후 의사결정자가 적절한 발전설비 도입시기를 결정하는데 있어서 판단 기준을 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김지수 외, “탄소세를 고려한 화력발전 설비간의 경제성 평가”, 산업공학회지 10권 1호, 1997.
- [2] 마용선, “에너지원간 대체가 탄소 배출에 미치는 효과 분석”, 연세대학교 석사논문, 2000.
- [3] 신희성 외, “이산화탄소 배출량 저감을 고려한 국내 에너지공급시스템 분석: 시장분배 모형의 응용”, 산업공학회지 18권 1호, 1993.
- [4] Donaldson, D. M and Betteridge, G. E., “The relative cost effectiveness of various measures to ameliorate global warming”.

- Energy Policy, pp 563-571, 1990
- [5] Komatsuzaki, H, "An Analysis on Cost Structure of Japan's Electric Utilities and Subjects", Energy in Japan, NO. 135, pp 31-39, 1995.
- [6] Varian, H. R., "Microeconomic Analysis", 3rd ed. WW. Norton and Company, New York, 1994.