

## 석탄화력발전대비 LNG복합화력발전 환경성 및 경제성 비용분석에 관한 연구

김종원

연세대학교 법학연구원 전문연구원

---

### A Study on Environmental and Economic Cost Analysis of Coal Thermal Power Plant Comparing to LNG Combined Power Plant

Jong-Won Kim<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institute for Legal Studies, Yonsei University, South Korea

*Received 30 November 2018, Revised 17 December 2018, Accepted 26 December 2018*

---

#### Abstract

This study is about comparing coal thermal plant to LNG combined power plant in respect of environmental and economic cost analysis. In addition sensitive analysis of power cost and discount rate is conducted to compare the result of change in endogenous and exogenous variable. For environmental assessment, when they generate 10,669GWh yearly, coal thermal power plant emits sulfur oxides 959ton, nitrogen oxide 690ton, particulate matter 168ton and LNG combined power plant emits only nitrogen oxide 886ton respectively every year. Regarding economic cost analysis on both power plants during persisting period 30 years, coal thermal power plant is more cost effective 4,751 billion won than LNG combined taking in account the initial, operational, energy and environmental cost at 10,669GWh yearly in spite of only LNG combined power plant's energy cost higher than coal thermal. In case of sensitive analysis of power cost and discount rate, as 1% rise or drop in power cost, the total cost of coal thermal power plant increases or decreases 81 billion won and LNG combined 157 billion won up or down respectively. When discount rate 1% higher, the cost of coal thermal and LNG combined power plant decrease 498 billion won and 539 billion won for each. When discount rate 1% lower, the cost of both power plant increase 539 billion won and 837 billion won. With comparing each result of change in power cost and discount rate, as discount rate is weigher than power cost, which means most influential variable of power plan is discount rate one of exogenous variables not endogenous.

**Keywords:** Coal Thermal Power Plant, Cost Analysis, Endogenous Variable, Exogenous Variable, LNG Combined Power Plant

**JEL Classifications:** Q40, Q53

---

<sup>a</sup> First Author, E-mail: [jwon548@gmail.com](mailto:jwon548@gmail.com)

## I. 서론

미세먼지에 대한 관심이 많아지면서 미세먼지를 배출하는 배출시설 등에 대해서 자연스럽게 그 관심이 이어지고 있다. 정부 관계부처 합동으로 발표한 자료<sup>1)</sup>를 보면 미세먼지 배출 비중이 사업장 38%로 가장 높고 뒤를 이어 건설기계, 선박 등이 16%, 세 번째로 발전소 15%, 4위는 11%로 경유차가 차지하였다. 이러한 부문별 미세먼지 배출 비중에서 사업장이 다른 부문보다 압도적으로 많은 비중을 차지하지만, 단기간 내에 특별한 대책을 마련하기 어려운 특성이 있어 주로 대기오염물질 방집시설 등의 오염물질 배출 후처리를 통해 저감 노력을 하고 있다. 반면에 다양한 에너지원을 사용하고 있는 자동차와 발전소의 경우 청정에너지 혹은 화석에너지 등 어떤 에너지원을 사용하느냐에 따라서 미세먼지 배출량에 대한 차이가 크므로 화석에너지 대신에 청정에너지를 사용하는 자동차와 발전시설을 확대하면 단기간에 미세먼지를 포함한 대기오염물질을 크게 줄일 수 있다. 자동차의 경우 경유를 에너지로 사용하는 경유차 대신에 휘발유차나 하이브리드차가 있고 발전시설의 경우는 유연탄을 사용하는 석탄화력발전소 대신에 LNG를 사용하는 LNG복합화력발전소가 있다. 대기오염물질만 생각한다면 간단한 문제이긴 하지만 환경 이외의 다른 측면도 함께 고려한다면 간단하지가 않다. 특히 비용적인 측면에서는 비용은 저렴하나 환경영향이 나쁘고, 비용은 높으나 환경영향이 상대적으로 더 좋은 반대적 상황에 놓여 있다. 발전소의 경우 환경적으로는 LNG복합화력발전소가 석탄화력발전소보다 비교 우위에 놓여 있으나 발전소 건설비용을 포함하여 연료비, 시설유지비 등을 포함한 발전비용은 석탄화력발전소가 LNG복합화력발전소에 비교 우위에 있다. 이러한 점 때문에 환경보다는 비용을 더 중요시하게 고려한다면 석탄화력발전소를 확대하

는 것이 타당할 것이고 환경을 더 비중 있게 고려한다면 LNG복합화력발전소를 확대하는 것이 더 적절하다고 할 수 있다. 하지만 현실적 상황에서는 간단한 선택의 문제가 아닌데, 이는 발전소에서 배출되는 미세먼지와 질소산화물 등의 대기오염, 오염물질로 인한 건강 및 환경문제, 전기세 상승으로 인한 산업 및 생활문제 등의 다양한 사회적 영향과 경제적 영향을 고려하지 않을 수 없기 때문이다. 이에 대한 현실적 대처로는 발전믹스 정책으로 발전원별 발전에 따른 각각의 장·단점을 감안하여 현실적 상황에 맞게 발전비중을 조절하면서 발전수요를 맞추고 있다. 예를 들어 미세먼지가 심한 시에는 석탄화력발전의 발전량을 줄이고 미세먼지 배출이 없는 LNG화력발전의 발전량을 높이는 것이다. 유가 상승으로 인해 LNG 가격이 오르는 경우에는 LNG화력발전의 발전량이 높으면 발전단가가 상승하여 전기세 인상이 불가피하므로 이러한 여건에서는 LNG화력발전의 발전량을 줄이고 석탄화력발전 발전량을 높이는 것이다.

국내 발전비중을 주로 차지하고 있는 에너지원은 석탄, 원자력, LNG 등<sup>2)</sup>인데 시기적으로 에너지원별 발전 비중에 차이가 있었던 이유는 미세먼지 등의 환경영향과 연료비용 등 복합적 측면에서의 다양한 이유가 있을 것으로 사료된다. 앞서 설명한 바와 같이 LNG는 비용에서는 석탄보다 비싸나 더 적은 대기오염물질을 배출하므로 시기적으로 대기오염이 심각한 시기에는 가급적 LNG복합화력 발전량을 높이려고 하였을 것이며, 여러 요인에 따른 공급량 부족으로 인해 LNG 가격이 높은 시기에는 가급적 석탄화력 발전량을 높이려고 하였을 것으로 판단된다. 특히, 우리나라는 석탄과 LNG 모두 수입 의존도가 매우 높을 뿐만 아니라 미세먼지의 국외영향<sup>3)</sup>도 연평균 30~50%, 고농도 시 60~80%로 추정하고 있어 단순히 단편적 측면만을 고

1) Ministry of Environment (2017)

2) Korea Energy Economics Institute (2017)

3) Ministry of Environment (2017)

려하여 석탄화력이 유리한 것인지, LNG복합화력이 유리한 것인지 단정 짓기 어렵다. 특히, 비용적 측면을 중심으로 석탄화력과 LNG복합화력을 비교 분석하기에는 대기오염물질로 인한 건강영향 등의 사회적 피해의 환경성을 고려하기가 쉽지 않고 환경적 측면을 중심으로 비교 분석하기에는 발전에 있어서 비용적 측면도 주요 요인 중 하나이므로 간과할 수 없다. 결국, 두 항목의 이질적인 특성으로 인해 종합적 비교가 어려우나 이를 해결할 수 있는 방안으로 화력발전소에서 배출되는 대기오염물질에 대해 오염물질별 사회적 비용을 적용하여 환경적 영향을 비용화함에 따라 발전비용과 환경영향 측면을 모두 고려한 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 경제성 비교에 대한 종합적 분석이 가능하다.

화력발전과 관련한 정부정책에 있어서는 미세먼지 배출이 많은 석탄화력발전의 비중을 줄이고 미세먼지 배출이 거의 없는 LNG복합화력발전의 비중을 높이고자 하고 있다. 이에 대해 전력 공급자 입장에서는 석탄화력발전에서 상대적으로 발전단가가 높은 LNG복합화력발전으로 발전비중을 높일 시 전기료 인상이 불가피할 수 밖에 없으며 전력 수요자 입장에서는 발전단가 인상으로 인해 생산단가가 상승할 수 밖에 없으므로 전력 공급자나 수요자 모두 LNG복합화력발전 확대에 대해 긍정적이지 못하다고 할 수 있다. 하지만 이러한 측면은 환경성이 포함되지 않은 발전과 관련한 비용만을 고려한 판단이므로 실제로 화력발전에서 배출되는 미세먼지를 포함한 대기오염물질에 대한 환경적 측면도 함께 고려해서 석탄화력발전과 LNG복합화력 발전을 비교해 보고자 한다. 추가적으로 경제성 비용 분석에 있어서 내생 변수 중 가장 큰 영향을 미치는 발전단가와 외생 변수 중에서 가장 큰 영향을 미치는 할인율에 대한 민감도를 분석하여 이에 대한 결과도 비교해 보고자 한다. 두 개의 다른 화력 발전의 비교 분석을 위해서는 유사한 조건의 상황에서

도출된 자료를 근거로 해야하므로 본 고에서는 한국남동발전에서 영흥지역 화력발전 870MW 용량의 2기를 신설하기 위해 고려하였던 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 자료를 적용하였다.

본 고의 구성으로는 먼저 관련 연구에 대해 선행연구를 검토해보고자 하며 이어서 영흥화력 사례를 중심으로 두 화력발전의 배출농도 및 배출량 중심으로 환경성에 대해 살펴보고자 한다. 다음으로는 경제성 비용분석을 위해 분석방법에 대해 먼저 살펴보고 이어서 항목별 비용을 산출하여 두 화력발전의 경제성 비용분석을 도출하여 비교할 것이다. 경제성 비용분석의 도출된 결과를 토대로 경제성 비용분석에 가장 큰 영향을 미치는 내생변수와 외생변수에 대한 민감도 분석을 통해 내생 및 외생변수의 영향의 크기와 특징에 대해 살펴보고자 한다.

## II. 선행 연구

본 연구와 관련하여 살펴볼 연구는 경제성 비용분석과 관련된 방법과 분석과정에서 적용될 대기오염물질 피해비용, 할인율과 관련된 연구에 대해 살펴보고자 한다.

먼저 대기오염물질 피해비용에 대한 연구로 이와 관련한 다양한 연구가 있으나 국내에서 주로 활용한 연구자료를 중심으로 살펴보면 크게 3개의 연구가 있는데 이는 Markandya (1998), Holland (2002), Ricardo-AEA (2014) 연구이다. 이 연구에서 다루었던 오염물질은 각각 차이가 있으며 전체 목록은 SO<sub>2</sub>(Sulfur Dioxide) NO<sub>x</sub>(Nitric Oxide), PM<sub>2.5</sub>(Particulate Matter) VOCs(Volatile Organic Compounds)로 시기에 따라서 가장 최근의 자료를 사용한 경향이 있으나 몇몇 연구에서는 세 개의 연구 결과의 특징에 맞추어서 자료를 활용하였다. 대기오염물질의 피해비용 연구에 대한 각 연구의 특징으로는 Holland and Watkiss (2002)

의 경우 PM<sub>2.5</sub>와 SO<sub>2</sub>의 피해비용에 대해 시골 지역과 도시지역으로 구분하였으며, 도시지역의 경우 좀 더 세부적으로 인구 10만명, 50만명, 100만명, 100만명 이상으로 나누어서 인구 10만명 기준에 대한 피해비용에 가중치를 적용하여 인구가 더 많을수록 피해비용은 5~15배까지 더 높아진다. Ricardo-AEA (2014)는 PM<sub>2.5</sub>에 대해서 시골, 교외, 도심지역으로 구분하여 피해비용을 보여주고 있으며 시골지역은 km<sup>2</sup>당 150명 이하, 교외지역은 300명, 도심지역은 1,500명 이상으로 구분하여 인구밀도를 고려한 PM<sub>2.5</sub> 피해비용을 보여주고 있다.

미래에 발생하게 될 비용과 편익을 현재가치화할 때 사용되는 할인율과 관련된 연구로 주요 연구나 예비타당성 조사에서 사용하고 있는 할인율의 수치는 기획재정부의 예비타당성조사 제도에서 제시하는 할인율로 2017년 11월에 4.5%로 개편하였다. 이 수치는 기존 5.5%에서 1% 하락한 수치로 지난 개편 이후로 시장금리와 경제성장률 등을 고려하여 10년 만에 재개편 되었다. 이에 따라서 예비타당성조사를 전담하는 한국개발연구원의 예비타당성과 관련한 모든 연구 및 분석은 개편 이전 10년 동안 5.5% 할인율을 적용하였고 개편 이후에는 4.5%를 적용하고 있다. 기획재정부의 예비타당성조사 제도에서 제시하는 할인율 수치 외에 다른 수치를 적용한 연구로는 Kang Kwang-Kyu (2010), Choi Eun-Ho (2011), Kim Jong-Won (2016) 등 여러 연구가 있는데 이 연구에서 사용하고 있는 할인율은 공통적으로 국고채 금리 평균을 활용하고 있으며, 현재가치로 전환해야 할 미래의 시기에 따라서 3년 만기, 5년 만기, 10년 만기 국고채 금리 평균을 환경 비용을 포함한 경제성 분석의 비용항목에 할인율로 적용하였다. 예비타당성조사에서 산출한 할인율의 경우 예비타당성조사 대상이 되는 모든 공공사업에 대하여 일관성 있게 미래가치를 현재가치로 전화하는 데 필요한 관련 항목들을 고려하여 도출하였다는 장점은 있다. 하지만

10년 만에 할인율이 개편되었듯이 할인율을 적용할 기간과 물가 및 소득수준 등의 여러 경제 지표의 변화와는 무관하게 특정 수치를 소개함에 따라 경제상황에 대한 변화를 담아내지 못하는 한계가 있다. 반면에, 경제상황에 따라 조정이 되는 국고채 금리 평균을 할인율로 적용할 시에는 할인율 적용 기간과 경제지표 등의 변화가 고려되었다는 점에서 할인율로서 적용할 타당성이 있다.

경제성 및 타당성 평가 등 평가방법과 관련한 연구로는 Korea Development Institute (2008)에서 제시한 경제적 타당성 평가 분석방법으로 편익/비용비율, 순현재가치, 내부수익률이다. 분석 기법은 3가지를 제시하였으나 이는 모두 비용과 편익을 구하고 그 결과를 해석 및 사례별 활용 편익을 위해 재구성하는 정도의 차이이다. 평가 사업의 타당성 확보를 위해서는 편익이 비용보다 커야 하며 동시에 일정 수준 이상의 내부수익률이 도출되어야 한다. 한편, 사업의 대안을 비교하는 차원의 평가에서는 Kim Jong-Won (2016)에서와 같이 각 대안별 순현재가치를 모두 구하는 것이 아니라 두 대안의 편익을 동일하게 설정하고 차감함에 따라 설정 편익에서 발생하는 비용이 적은 대안이 비교 대안보다 더 비용효율적인 것으로 판단된다.

발전 편익을 산출한 선행연구로는 Oh Seok-Hyun (2012)이 있으며 이 연구에서는 다양한 항목의 비용을 고려한 열병합 발전의 편익을 산출하였고 연료별 열병합 발전에 따른 이산화탄소 배출계수를 고려한 환경비용을 산정하였다. 고려된 연료원으로는 유연탄, 무연탄, LNG 등등이 있는데 이 연료원은 연소 시 이산화탄소뿐만 아니라 다양한 대기오염물질을 배출함에도 불구하고 다양한 대기오염물질을 고려하지 못하고 있다는 한계를 가지고 있다.

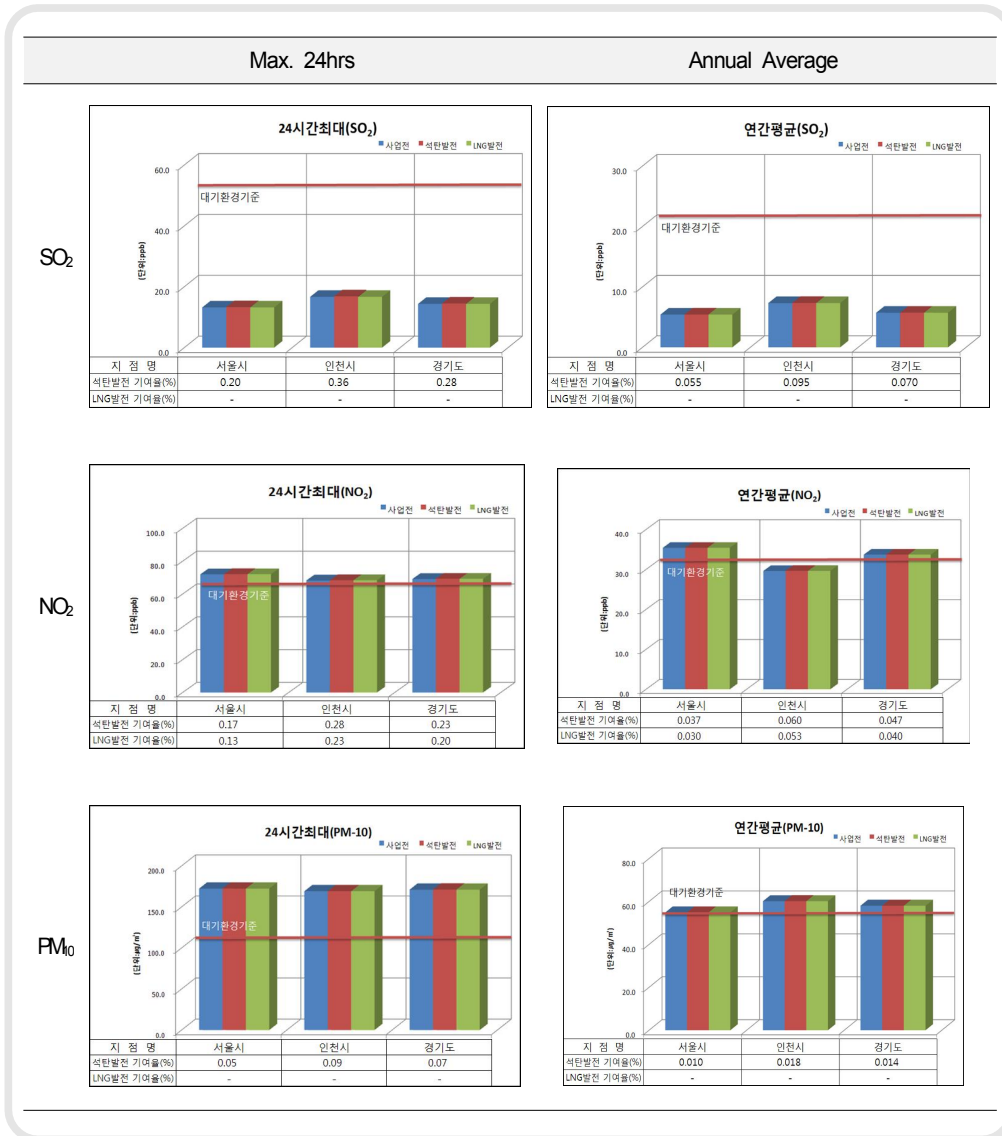
### III. 환경성 평가 고찰

화력발전의 환경성 평가는 남동발전 영흥화력 지역에 발전설비 870MW의 화력발전 2기를 석탄화력발전으로 건설하여 가동할 경우와 LNG복합화력발전으로 건설하여 가동할 경우

에 대해서 발전 시 배출되는 오염물질 배출농도와 배출량이 어떻게 되는지 비교해 보고자 한다. 오염농도의 경우 가동률 80%대 수준을 유지하여 발전하였을 때 24시간 최대 오염농도와 연간 평균농도를 비교하였다.

사용연료 차이로 인해 석탄화력발전과 LNG

Fig. 1. Pollutant Predictive Concentration



Source: Korea South-East Power (2012)

**Table 1.** Air Pollutants' Emission

		(Unit: ton/year)		
Annual Generation	Power Plant	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
10,669GWh	Coal Thermal	959	690	168
	LNG Combined	-	886	-

Source: Korea South-East Power (2012)

복합화력발전에서 배출되는 오염물질의 종류는 차이가 있는데 석탄화력발전은 황산화물, 질소산화물, 미세먼지이며 LNG복합화력발전의 경우 질소산화물이다. 가동에 따른 대기오염물질별 수도권 지역의 대기질 영향은 모든 오염물질에 대해서 인천시, 경기도, 서울시 순서로 영향이 큰데 이것은 영흥화력이 인천시 영흥도에 위치한 위치적 특성 때문이다. 오염물질별로 살펴보면 황산화물의 경우 신설되는 화력발전의 가동과 상관없이 수도권 지역 모두 가동 이전과 이후 모두 대기환경기준 수치 이내의 농도이다. 반대로 미세먼지의 경우 가동 이전부터 수도권 지역 모두 대기환경기준을 초과하므로 가동 이후 그 영향은 더욱 가중된다는 것을 예측할 수 있다. 한편, 질소산화물의 24시간 최대 농도의 경우 가동 전부터 수도권 지역 모두 대기환경기준을 초과하나 연간평균 수치에서는 인천시가 서울시와 경기도 지역과는 다르게 가동 전·후 모두 대기환경기준을 충족한다. 결국 신설되는 화력발전의 가동으로 인해 대기환경기준 충족 여부에 영향을 미치는 것은 없으나 대기환경기준을 초과한 오염물질의 경우 대기질에 가중적인 영향을 미치게 된다.

화력발전 대기오염물질 배출량의 경우 Korea South-East Power (2012)에서 제시한 자료에 따르면 연간 발전량 10,669GWh 기준으로 석탄화력발전의 대기오염물질 연간 배출량은 황산화물 959톤, 질소산화물 690톤, 미세먼지 168톤이며 LNG복합화력발전은 질소산화물 886톤으로 황산화물과 미세먼지는 배출이 거의 되지 않는다. 두 화력발전의 대기오염물질 배출량

차이는 황산화물과 미세먼지의 경우는 LNG복합화력발전에서 배출되는 양이 거의 없으므로 석탄화력발전 배출량만큼의 차이가 발생하고 질소산화물은 연간 196톤이 LNG복합화력발전에서 더 많이 배출된다.

#### IV. 경제성 비용분석

경제성 비용분석에 있어서 중요한 항목은 실질적 비용에 대한 자료로 특히 석탄화력발전과 LNG복합화력발전 비교 시 입지 및 건설 여건이 다르면 직접 비교에 있어서 오차를 발생할 수 있으므로 이를 최소화해야 한다. 이를 위해 2013년에 한국남동발전이 영흥화력발전 증설 계획 시 석탄화력발전 혹은 LNG복합화력발전으로 증설을 고려하기 위해 조사 및 산출하였던 Korea South-East Power (2012)과 Kang Kwang-Kyu (2012)의 자료를 적용하기로 하였다.

##### 1. 분석 방법

여러 대안에 대해 경제성 비용분석 수행 시에 주로 사용하는 방법은 앞서 살펴본 선행연구에서 다양하게 활용된 비용편익분석방법으로 편익과 비용을 동시에 고려함으로써 편익이 비용보다 크면 비용효율적으로 경제적 타당성이 있다고 하며, 반대로 비용이 더 크면 비효율적 대안으로 본다. 특히 동일분야에서 여러 대안을 비교 분석할 시에는 편익을 동일하게 설정

함에 따라 분석결과와 비교가 용이하며 분석과정의 편의성을 높일 수가 있어서 다양한 비용 편익분석 방법 중에서 순현재가치법이 많이 활용된다. 순현재가치법은 현재가치의 시점에서 분석 대안에 대한 결과를 비교해 볼 수 있다는 점에서 직접적 비교가 가능하여 각 대안에 대해 동일한 조건에서의 비교우위를 명확하게 판단할 수 있다. 석탄화력발전과 LNG복합화력발전에 대한 경제성 비용분석 시 두 화력발전의 편익 항목은 발전량으로 증설시설에 대한 발전량의 수요는 두 화력발전이 동일하다. 따라서 발전량에 대해서 두 화력발전을 동일하게 설정하게 되면 설정한 편익에 따른 비용만 고려하여 비교하면 되는 편의성이 있다. 수식으로 설명하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 NPV &= -I_0 + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)} + \dots + \frac{B_T - C_T}{(1+r)^T} \\
 &= -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

NPV(Net Present Value): 순현재가치  
 I<sub>0</sub>: 초기비용  
 B<sub>t</sub>: t차년도에 발생하는 편익  
 C<sub>t</sub>: t차년도에 발생하는 비용  
 T: 내구연한  
 r: 할인율

$$\begin{aligned}
 NPV^C &= -I_0^C + \sum_{t=1}^T \frac{B_t^C}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_t^C}{(1+r)^t} \\
 NPV^L &= -I_0^L + \sum_{t=1}^T \frac{B_t^L}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{C_t^L}{(1+r)^t}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

NPV<sup>C</sup>: 석탄화력발전에 대한 순현재가치  
 NPV<sup>L</sup>: LNG복합화력발전에 대한 순현재가치

$$NPV^C - NPV^L = (I_0^L - I_0^C) + \sum_{t=1}^T \frac{B_t^C - B_t^L}{(1+r)^t}$$

$$- \sum_{t=1}^T \frac{C_t^C + C_t^L}{(1+r)^t}
 \tag{3}$$

$$NPV^C - NPV^L = (I_0^L - I_0^C) - \sum_{t=1}^T \frac{C_t^C + C_t^L}{(1+r)^t}
 \tag{4}$$

식 (1)은 순현재가치법의 일반형태로 초기비용과 함께 매년마다 발생하는 편익과 비용을 산출하여 내구연한 기간 동안의 연간 편익 혹은 연간 비용에 할인율을 적용하여 현재가치화하는 방법을 보여주고 있는데 이를 간단히 하면 내구연한 기간 동안의 초기비용, 편익, 비용 항목으로 구분하여 산출함으로써 분석의 편의성을 높일 수 있다.

식 (2)는 순현재가치법의 일반 형태에 본 연구에서 분석하고자 하는 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 경우를 각각 대입한 수식으로 석탄화력발전에 대한 순현재가치는 석탄화력발전을 건설하는데 필요한 초기비용과 완공 이후 내구연한 기간 동안 석탄화력발전에서 발생하는 편익과 비용을 의미하며 동일하게 LNG복합화력발전에 대한 순현재가치는 LNG복합화력발전을 건설하는데 필요한 초기비용과 완공 이후 내구연한 기간 동안 LNG복합화력발전에서 발생하는 편익과 비용을 수식으로 보여주고 있다.

식 (3)은 석탄화력발전에 대한 순현재가치에 LNG복합화력발전의 순현재가치를 차감한 식으로 초기비용과 편익 그리고 비용의 3가지 항목에 있어서 각각 석탄화력발전과 LNG복합화력발전에 대해 항목별로 각각 매칭하여 단순화시킨 형태이며 여기서 앞서 설명한 바와 같이 두 대안의 분석결과와 비교를 위해 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 편익인 발전량을 동일하게 설정하면 편익 항목은 서로 동일하므로 결국은 비용항목으로만 구성된 식 (4)의 형태가 된다. 식 (4)의 형태는 편익 항목이 없어 석탄화력발전이나 LNG복합화력발전의 편익에

대해 분석하거나 계산할 필요가 없다. 다만 설정한 편익을 발생하기 위해 필요한 비용을 편익에 맞추어서 산출해 주어야 한다. 식 (4)를 활용하여 도출된 결과값이 음(-)의 값으로 나오면 석탄화력발전의 순현재가치가 더 높으므로 석탄화력발전이 LNG복합화력발전보다 더 비용효율적이라는 의미이며, 반대로 결과값이 양(+)의 값으로 나오면 동일한 편익에 대해 LNG복합화력발전의 비용이 석탄화력발전보다 덜 발생하므로 LNG복합화력발전의 순현재가치가 더 높으므로 LNG복합화력발전이 석탄화력발전

보다 더 비용효율적이라는 결과를 얻게 된다.

## 2. 항목별 비용

### 2.1. 초기비용

비용 평가 분석에 있어서 초기비용은 주로 발전소 건설비용을 의미하며 구체적으로는 발전소 가동을 통해 발전이 될 수 있는 상태가 되기까지 이르는 데 필요한 비용이다. 발전소가 완공이 되어 전력을 생산할 수 있게 되면 이 발

**Table 2.** Construction Cost

(Unit: Million won)

	Coal Thermal		LNG Combined	
	Item	Amount	Item	Amount
Equipment	Boiler	490,939	HRSG	91,392
			Control System	17,285
	Turbine/Generator	230,638	Gas Turbine	334,680
			Steam Turbine	234,698
	Auxiliary	794,529	Sub System	14,770
			Sub Machine	184,517
Sub Total	1,516,106	Sub Total	877,343	
Building	Civil Engineering	117,124	Civil Engineering	84,612
	Architecture	226,224	Architecture	87,238
	Machine	180,866	Machine/Piping	72,849
	Electricity/Measurment	83,851	Electricity/Instrumentation	55,090
	Sub Total	608,065	Sub Total	299,790
Overhead	Design	95,139	Design	55,082
	General Overhead	66,024	General Overhead	133,353
	Reserve	63,886	Reserve	35,314
	Sub Total	225,050	Sub Total	223,749
Interest	111,344		79,465	
Total	2,460,565		1,480,347	

Source: KEPCO Engineering & Construction (2010)



전소는 더 이상 초기비용이 요구되지 않으므로 발전소를 건설하고 발전소 수명이 다 되어 폐기하기까지의 초기비용은 다른 비용 항목과 비교하여 전체비용에서 차지하는 비중은 높으나 초기 1회에 발생하는 단발적인 비용이다. 본 연구에서 적용할 데이터는 KEPCO Engineering & Construction (2010) 자료로 시기적으로는 최근 자료가 아니지만 동일한 조건의 상황에서 석탄화력발전과 LNG복합화력 발전을 같은 시점에서 건설비용을 추정할 사례이므로 두 화력발전의 비교에 있어서 시기적으로나 건설 환경여건이 다른 상황에서의 비용 추정 자료보다는 정확도가 높은 자료라고 할 수 있다.

석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 건설비용 항목은 크게 기자재비, 시공비, 간접비, 건설비용에 대한 이자 비용의 항목으로 구분되며 화력발전의 특징에 따라서 각 항목마다의 세부 사항 및 금액은 차이가 있다.

두 화력발전의 건설비용과 항목별 비중을 살펴보면 870MW 용량의 2기를 건설하는데 총금액은 석탄화력발전이 2조 4,605억원이고 LNG복합화력발전은 1조 4,803억원으로 석탄화력발전의 건설비용이 LNG복합화력발전 비용의 66% 정도 높다. 한편 기자재비의 경우 석탄화력발전은 총비용의 62%를 차지하고 LNG복합화력발전은 59%를 차지하므로 두 화력발전의 기자재비의 비중은 비슷하다고 할 수 있다. 시공비는 각각 25%, 20%로 석탄화력발전이 더 높으나, 간접비의 경우 9%인 석탄화력발전보다 LNG복합화력발전이 15%로 더 높다.

### 2.2. 운영비용

운영비용은 정기적 혹은 필요 시 지속적인 전력생산을 위해서 요구되는 비용으로 크게 발전설비 및 환경설비 부품에 대한 정기적 교체나 유지보수적 차원에서 수리비 및 관리비에 해당한다. 부품교체의 경우 매년마다 주기적으로 이루어지는 부품과 함께 몇 년마다 주기적으로 교체되는 부품이 있고 수리비의 경우 수리가 필요한 상황에서 비용이 발생하는 것이므로 특정 기간을 두고 산정하는 것은 부정확하고 교체가 필요한 부품에 대해 주기적 교체가 이루어지는 기간을 고려하여 그 기간 동안의 평균비용을 적용하는 것이 바람직하다. Korea South-East Power (2012)에서 공개한 연간 석탄화력발전의 운영비는 MWh당 19백만원이고 LNG복합화력발전의 경우는 18백만원으로 1,740MW 규모의 화력발전소 소요되는 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 연간 운영비는 각각 345억원과 314억원이 된다.

### 2.3. 연료비용

연료비용은 전력생산을 위해 필요한 연료에 대한 발전단위당 비용으로 연간 발전량에 따라 그 비용이 산정된다. 본 연구에서는 전력통계정보시스템에서 제공하는 발전단위당 석탄과 LNG 비용을 적용할 것이며 여러 상황에 따라 석탄 및 LNG 가격 변동이 심하므로 특정 시점의 비용을 적용하기보다는 최근 3년간의 연료비 단가 평균을 적용하고자 한다. 최근 3년간 석탄의 연료비 단가는 34.7~52.6원/kWh 범위

**Table 3.** Fuel Unit Cost and Yearly Fuel Cost

	Fuel Unit Cost (won/kWh)	Yearly Generation (GWh)	Yearly Fuel Cost (million won)
Coal Thermal	44.9	10,669	480,006
LNG Combined	86.5		923,843

Source: www.epsis.kpx.or.kr/

에 있으며 이 시기 동안의 평균은 kWh당 44.9 원이다. LNG의 연료비 단가는 80.2~93.7원/kWh 범위로 평균은 kWh당 86.5원이다. 최근 3년 동안의 연료비 단가는 LNG가 석탄의 2 배에 근접할 정도로 높다.

연간 발전량에 연료비 단가를 적용하여 연간 연료비를 산출하면 연간발전량이 10,669GWh 일 때의 연료비는 석탄화력발전의 경우 4,800 억원이며 LNG복합화력은 9,238억원이다.

### 2.4. 환경비용

환경비용은 화력발전에서 배출되고 있는 대기오염물질에 따른 다양한 피해를 비용으로 환산한 비용을 의미하며 앞서 소개한 대기오염물질 배출량에 대해 오염물질별 단위당 피해비용을 적용하여 환경비용을 환산하기 위해 사용할 자료로는 Ricardo-AEA 기관의 연구를 통해 European Commission에서 발간한 대기오염물질별 피해비용 자료를 활용하고자 한다. 이 자료는 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 비

Fig. 2. Air Pollutants' Damage Cost(2010)

(Unit: Euro/ton)

Country	PM <sub>2.5</sub>			NO <sub>x</sub>	NMVOC	SO <sub>2</sub>
	Rural	Suburban	Urban			
Austria	37766	67839	215079	17285	2025	12659
Belgium	34788	60407	207647	10927	3228	13622
Bulgaria	34862	65635	212875	14454	756	12598
Croatia	31649	61539	208779	15149	1819	12317
Cyprus	25040	51200	198440	6465	1122	12594
Czech Republic	43028	68427	215667	15788	1648	14112
Germany	48583	73221	220461	17039	1858	14516
Denmark	13275	40760	188000	6703	1531	7286
Estonia	15359	49948	197188	5221	1115	8441
Spain	14429	48012	195252	4964	1135	7052
Finland	8292	43997	191237	3328	781	4507
France	33303	64555	211795	13052	1695	12312
Greece	19329	50605	197845	3851	854	8210
Hungary	47205	74641	221881	19580	1569	14348
Ireland	16512	47420	194660	5688	1398	6959
Italy	24562	50121	197361	10824	1242	9875
Lithuania	23068	55535	202775	10790	1511	10945
Luxembourg	45688	71308	218548	18612	3506	15103
Latvia	19528	53638	200878	8109	1499	10000
Malta	NA	NA	98132	1983	1007	6420
Netherlands	29456	48352	195592	11574	2755	16738
Poland	47491	74215	221455	13434	1678	14435
Portugal	18371	49095	196335	1957	1048	4950
Romania	56405	84380	231620	22893	1796	17524
Sweden	14578	50210	197450	5247	974	5389
Slovenia	39633	67670	214910	16067	1975	12422
Slovakia	54030	79270	226510	21491	1709	17134
United Kingdom	14026	47511	194751	6576	1780	9192
<b>EU average</b>	<b>28108</b>	<b>70258</b>	<b>270178</b>	<b>10640</b>	<b>1566</b>	<b>10241</b>

Source: NEEDS (Preiss et al. 2008), values for low height of release, updated to year 2010 using country-specific nominal GDP per capita (PPP) figures; own calculations for area-specific PM damage costs, explained in Annex C3. EU average values are also updated from NEEDS using EU average GDP figures.

Source: Ricardo-AEA (2014)

메탄계 휘발성 유기화합물(NMVOC), 황산화물(SO<sub>2</sub>)에 대한 각각의 피해비용을 유럽의 23개 국가별로 보여주고 있으며 미세먼지의 경우 시골지역, 교외지역, 도시지역으로 분류하여 명시하고 있다. 다양한 국가별로 오염물질별 피해비용이 있으나 본 연구에서 적용하고자 하는 수치는 이들의 평균값을 사용하고자 하며 미세먼지의 경우는 도시지역의 값을 활용하고자 한다. 한편 23개 나라의 오염물질별 피해비용의 평균값을 사용하기에는 피해비용 산정에 영향을 미치는 나라별 GDP, 인구밀도 등등 나라별로 차이가 나는 요인을 고려하지 못한 방안이라 할 수 있다. 하지만 각국의 GDP와 인구밀도 등을 고려하여 회귀분석을 통한 국내의 오염물질별 피해비용 도출을 시도하였으나 데이터 수의 한계로 인해 유의미한 결과가 나오지 않음에 따라 평균값을 활용하는 일반적 방법을 선택하였다.

오염물질별 피해비용은 2010년 기준의 유로값이므로 이를 본 연구에 활용하기 위해서 먼저 2010년 평균 원화환율을 적용하고 이후 국내의 물가상승률을 대입하여 비용을 현재화하고자 한다. 이런 작업을 통해 산출된 도시지역 미세먼지 피해비용은 톤당 481,747천원, 황산화물은 톤당 18,260천원, 질소산화물은 톤당 18,972천원이다. 오염물질별 피해비용을 앞서 산출한 연간 오염물질 배출량에 적용하면 연간 발전량 10,669GWh 상황에서는 석탄화력의 경우 1,115억원, LNG복합화력은 168억원이다.

### 3. 경제성 비용분석

경제성 비용분석에서는 화력발전에서 배출되는 대기오염물질의 피해비용을 포함한 항목별 비용을 화력발전의 내구연한에 맞추어서 현재가치화하는 작업을 통해 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 비교 우위 및 비용효율의 크기를 산출하고자 한다. 이를 위해서 적용할 화력발전의 내구연한은 한국남동발전 내부지침에서 화력발전 설계수명으로 명시한 30년을 기준으로 설정하고자 한다. 할인율로는 기획재정부에서 예비타당성조사 제도 개편 시 발표한 4.5%를 적용하고 과거의 비용을 현재화하기 위해 적용한 지표로는 국가통계포털에서 제시한 물가상승률을 활용하였다.

앞서 분석방법에서 설명한 대로 석탄화력발전과 LNG복합화력발전 두 대안의 연간 발전량인 10,669GWh로 설정하고 이때 발생하는 비용을 고려하여 두 화력발전의 경제성을 비교하고자 한다. 먼저 현재 기준이 아닌 항목별 연간 비용에 대해 물가상승률을 적용하여 2018년 값으로 조정해주면 초기비용의 경우 석탄화력발전이 LNG복합화력발전보다 1조 1,401억원이 더 높다. 환경비용도 미세먼지와 황산화물을 더 많이 배출하는 석탄화력발전이 더 높는데 연간 947억원이 더 높다. 운영비용의 경우도 석탄화력발전의 건설비용이 더 높은 것과 함께 더 많은 대기오염물질을 배출로 인한 환경설비에 대한 운영비에 따른 측면으로 연간 30억원의 운영비용이 더 높게 발생한다. 연간 연료비

**Table 4.** Annual Damage Cost of Air Pollutants from Power Plant

(Unit: Million won/year)

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	Total
Coal Thermal	17,511	13,081	80,933	111,526
LNG Combined	-	16,800	-	16,800
Difference	17,511	-3,719	80,933	94,726

**Table 5.** Annual Cost(2018)

(Unit: Million won)

	Construction	Environment	Operation	Fuel
Coal Thermal	2,862,058	111,526	34,506	480,006
LNG Combined	1,721,897	16,800	31,499	923,843
Difference	1,140,161	94,726	3,008	-443,837

**Table 6.** Cost Analysis Result

(Unit: Billion won)

	Construction	Environment	Operation	Fuel	Total
Coal Thermal	2,862 (24.1%)	1,898 (14.0%)	587 (4.5%)	8,170 (60.4%)	13,518 (100%)
LNG Combined	1,721 (8.5%)	285 (1.6%)	536 (2.9%)	15,725 (86.1%)	18,269 (100%)
Difference	1,140	1,612	0.461	-7,554	-4,751

는 LNG복합화력발전이 더 높으며 그 차액은 4,438억원이 더 높다. 지금까지 언급한 항목별 연간비용을 정리하면 다음의 표와 같다.

다음으로 석탄화력발전 대비 LNG복합화력발전의 경제성 비용분석을 위해 산출한 항목별 연간비용을 화력발전 내구연한 동안의 비용으로 현재가치화하여 두 화력발전의 경제성을 비교하려 한다. 화력발전 내구연한 30년 동안의 비용에 대해 현재가치화하기 위해서 매년 발생하는 비용에 할인율을 적용하고 30년 동안의 비용을 항목별로 모두 더하면 석탄화력발전은 13조 5,184억원, LNG복합화력발전은 18조 2,695원의 비용이 소요되므로 석탄화력발전이 4조 7,511억원이 더 경제적이다. 항목별로는 석탄화력발전이 연료비용을 제외한 다른 모든 항목에서 LNG복합화력보다 더 많은 비용이 소요되지만 연료비용이 차지하는 비중과 두 화력발전 간의 연료비용의 차이가 너무 커서 결과적으로는 석탄화력발전이 경제적 측면에서 더

비용효율적인 결과가 도출되었다.

화력발전 내구연한인 30년 동안의 비용에 대해서 항목별로 살펴보면 석탄화력발전 연료비용의 비중은 전체비중에서 60%의 비중으로 가장 높은 비중을 차지하고 그 다음은 초기비용 24%, 환경비용 14%, 운영비용 4% 비중의 범위에 있다. LNG복합화력발전도 전체비용에서 연료비용의 비중이 86%로 제일 높고, 그 다음은 초기비용 8%, 운영비용 비중이 3%, 환경비용 비중이 1%대로 가장 낮다. 두 화력발전의 항목별 비중에 대한 특징으로는 먼저 연료비중의 경우 경제성 분석의 결과를 좌우할 만큼 석탄화력발전의 연료비중이 약 60%로 LNG복합화력발전보다 25% 정도 차이가 발생한다. 반면 환경비용의 경우는 석탄화력발전이 LNG복합화력발전의 환경비용 비중보다 10배가 될 정도로 높다. 또한, LNG복합화력발전은 비용항목 중에서도 환경비용이 가장 낮은 비중을 차지함에 따라 LNG연료가 친환경연료임을 보여

주고 있다. 이를 고려할 때 친환경발전을 위해서는 LNG복합화력발전에 대한 연료비용을 낮출 수 있는 안정적 공급망이나 연료효율 및 발전효율을 제고할 수 있는 방안이 선제되어야 할 필요가 있다.

#### 4. 민감도 분석

석탄 및 LNG복합화력발전의 경제성 비용에 대해 비교하면서 고려한 항목은 건설 및 설비 등의 초기비용, 대기오염물질 배출에 따른 환경비용, 부품교체 및 수리 등의 운영비용 그리고 연료비용이다. 앞서 살펴보았던 바와 같이 경제성 비용분석 항목 중 내생변수로서 경제성 평가에서 가장 높은 비중을 차지하는 변수이자 항목은 연료비용이다. 반면에 경제성 평가에 미치는 외생변수로는 물가상승률, 할인율 등이 있으며 화력발전 내구연한이 30년이므로 외생 변수에서 가장 큰 영향을 미치는 변수는 할인

율이다. 이번 장의 민감도 분석에서는 내생변수 및 외생변수로 경제성 분석에 큰 영향을 미치는 연료비용과 할인율의 각 변수에 대해 동일한 민감도 분석을 통하여 각각의 설정이 경제성 분석에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 또한, 내생변수 변화에 따른 결과와 외생변수 변화에 따른 결과를 서로 비교하여 내생적 요인과 외생적 요인에 따른 영향의 크기도 비교해 보고자 한다.

먼저 내생적 요인으로 앞서 경제성 비용분석에서 적용한 연료비 단가에 대해 1% 증가 및 감소한 경우의 분석이다. 석탄화력발전 경제성 비용분석에 있어서 연료비용에 적용한 단가는 44.9원/KWh이고 LNG복합화력발전에 적용한 단가는 86.5원/KWh이므로 민감도 분석에 적용할 단가는 석탄화력발전의 경우 45.4원/KWh와 44.5원/KWh이고 LNG복합화력발전은 87.4원/KWh와 85.7원/KWh이다. 이를 각각 적용한 경제성 비용분석 결과로 두 화석발

**Table 7.** Cost Analysis Result from Change in Fuel Cost

(Unit: Billion won)

		Construction	Environment	Operation	Fuel	Total
Fuel Cost 1% Up	Coal Thermal	2,862 (21.0%)	1,898 (14.0%)	587 (4.3%)	8,252 (60.7%)	13,600 (100%)
	LNG Combined	1,721 (9.3%)	285 (1.6%)	536 (2.9%)	15,882 (86.2%)	18,426 (100%)
	Difference	1,140	1,612	0.461	-7,630	-4,826
-	Coal Thermal	2,862 (24.1%)	1,898 (14.0%)	587 (4.5%)	8,170 (60.4%)	13,518 (100%)
	LNG Combined	1,721 (8.5%)	285 (1.6%)	536 (2.9%)	15,725 (86.1%)	18,269 (100%)
	Difference	1,140	1,612	0.461	-7,554	-4,751
Fuel Cost 1% Down	Coal Thermal	2,862 (21.3%)	1,898 (14.1%)	587 (4.4%)	8,088 (60.2%)	13,436 (100%)
	LNG Combined	1,721 (9.5%)	285 (1.6%)	536 (3.0%)	15,568 (86.0%)	18,112 (100%)
	Difference	1,140	1,612	0.461	-7,479	-4,675

전의 전체 연료비만 1% 증가하고 감소하는 결과이며 이에 대한 증감금액이 경제성 비용에 그대로 반영된다. 하지만 경제성 비용분석 항목별 비중에서는 연료비용이 증가하고 감소함에 따라 다른 비용에도 그 영향을 미친다. 연료비 단가 1% 변화에 따른 변동금액은 석탄화력발전이 817억원이고 LNG복합화력발전은 1,573억원이며 이에 따른 석탄화력발전대비 LNG복합화력발전의 경제성은 1% 증가 시 4조 8,267억원, 1% 감소 시 4조 6,756억원이 석탄화력발전에게 더 유리하게 도출되었다.

앞서 내생변수 중 하나이며 경제성 비용분석에 가장 많은 영향을 미치는 연료비에 대한 민감도 분석을 살펴보고 이번에는 외생변수로서 경제성 비용분석에 가장 많은 영향을 미치는 할인율에 대한 민감도 분석을 시행하고자 한다. 연료비 민감도 분석 설정과 동일하게 할인율 수치에 대해 1% 증감할 때의 경제성 비용 민감도 분석으로 할인율 4.95%와 4.05%를 각

각 적용한다. 할인율은 화력발전 내구연한 30년 동안 연간 10,669GWh 발전 시 발생하는 비용을 현재가치화하기 위해 적용하는 것이므로 초기비용을 제외하고 30년 동안 매년마다 발생하는 환경비용, 운영비용, 연료비용 항목 모두에 영향을 미치는 특징이 있다. 할인율이 1% 상승하면 석탄화력발전의 총비용은 4,985억원이 감소하고 LNG복합화력발전은 7,739억원이 감소한다. 이에 따라 두 화력발전이 연간 10,669GWh 전력을 생산하는 데 있어서 석탄화력발전이 4조 7,511억원 비용절감이 되었던 게 할인율이 1% 증가함에 따라 2,754억원이 줄어든 4조 4,756억원으로 감소하였다.

할인율 1% 하락 시에는 석탄화력발전의 총비용은 5,394억원, LNG복합화력발전은 8,378억원이 각각 증가한다. 기존 석탄화력발전이 LNG복합화력발전보다 4조 7,511억원이 비용적으로 더 우수하였던 결과에서 할인율이 1% 낮아져 LNG복합화력발전의 비용증가분이

**Table 8.** Cost Analysis Result from Change in Discount Rate

(Unit: Billion won)

		Construction	Environment	Operation	Fuel	Total
Discount Rate 1% up	Coal Thermal	28,620 (22.0%)	18,095 (13.9%)	5,598 (4.3%)	77,884 (59.8%)	130,199 (100%)
	LNG Combined	17,218 (9.8%)	2,725 (1.6%)	5,110 (2.9%)	149,900 (85.7%)	174,956 (100%)
	Difference	11,401	15,370	488	-72,015	-44,756
	-	Coal Thermal	28,620 (24.1%)	18,983 (14.0%)	5,873 (4.5%)	81,706 (60.4%)
Discount Rate 1% Down	LNG Combined	17,218 (8.5%)	2,859 (1.6%)	5,361 (2.9%)	157,255 (86.1%)	182,695 (100%)
	Difference	11,401	16,124	461	-75,549	-47,511
	Coal Thermal	28,620 (20.4%)	19,944 (14.2%)	6,170 (4.4%)	85,842 (61.1%)	140,578 (100%)
	LNG Combined	17,218 (9.0%)	3,004 (1.6%)	5,633 (2.9%)	165,216 (86.5%)	191,073 (100%)
Difference	11,401	16,940	537	-79,374	-50,494	

2,984억 더 큼에 따라 석탄화력발전의 경제성이 5조 494억원 더 비용효율적인 것으로 산출되었다. 할인을 변화에 따른 두 화력발전의 경제성 비용 결과를 살펴보면 할인은 높을수록 LNG복합화력발전이 석탄화력발전보다 유리하고 하락하면 석탄화력발전이 상대적으로 유리하다.

지금까지 분석한 연료비 및 할인을 변동에 따른 민감도 분석결과를 종합해보면 동일한 변화율에 대해 내생변수인 연료비보다는 외생변수인 할인을 변화에 따른 영향이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 연료비 단가 1% 증감 시 석탄화력발전의 총비용이 0.6% 증감하고 LNG복합화력발전은 0.8% 증감한다. 할인을 1% 증감 시 석탄화력발전의 총비용은 각각 3.7% 감소 및 4.0% 증가하고 LNG복합화력발전은 각각 4.2% 감소 및 4.6% 증가한다.

여기서 추가적으로 살펴볼 점은 연료비 민감도 분석의 경우 연료비 단가의 1% 증가 및 감소에 대한 연료비 총액 변화의 크기가 동일하고 이에 따른 경제성 평가 결과도 동일한 변화량이다. 할인의 경우는 1% 크기로 증가하거나 감소하는 동일한 변화량에 대한 민감도 분석이지만 그 결과로 인한 경제성 비용분석 결과는 서로 다르다. 그 이유로 연료비는 연료비 발전단가에 발전량을 적용하여 산정하고 이후 다른 항목의 비용과 더하여서 계산하는 산술적 방식이라면 할인이 적용되는 방식은 화력발전의 내구연한 동안 발생하는 발전비용을 현재화하는 과정에 있어서 적용되는 할인이 제공형식의 지수방식에 의한 계산이기 때문이다. 구체적으로 설명하면 앞서 경제성 비용분석 방법을 소개한 항목에서 식(1)과 같이 미래의 비용을 현재가치화하는 데 있어서 화력발전의 내구연한 기간만큼 할인을 제공하여 비용을 나누는 방식으로 적용이 되어 산술적 계산이 아닌 기하적 방식의 계산으로 인해 할인율 수치의 1% 증감에 따른 결과값의 변화량이 동일하지 않다.

## V. 결론 및 시사점

미세먼지와 친환경에너지에 관한 사회적 관심이 높은 시점에서 두 이슈와 연관성이 높은 석탄화력발전과 LNG복합화력발전의 환경성 및 경제성 비용에 대해 비교·분석하였다. 또한, 분석과정에서 내생적 요인과 외생적 요인에서 가장 큰 영향을 미치는 연료비와 할인에 대한 민감도 분석을 통하여 결과값의 변화와 함께 두 변수의 특징에 따른 영향에 대해서도 분석하였다. 결론에서는 이에 대한 결과들을 요약하고 각각의 분석결과를 토대로 몇 가지 시사점을 도출하고자 한다.

환경성 평가의 경우 배출되는 대기오염물질별 농도와 배출량을 비교하였다. 연간 발전량 10,669GWh일 때에 대해서 살펴보았으며 석탄화력발전의 경우 대기오염물질별 연간 배출량은 황산화물 959톤, 질소산화물 690톤, 미세먼지 168톤이다. LNG복합화력발전의 경우 황산화물과 미세먼지는 거의 배출이 되지 않는 반면에 질소산화물은 연간 886톤이 배출됨에 따라 석탄화력발전보다 더 많은 양을 배출한다.

경제성 비용분석의 경우 건설 및 설비 비용에 대해 전력을 생산할 수 있는 단계까지의 필요한 비용인 초기비용과 발전소를 유지 및 운영하는 데 필요한 운영비용, 전력생산에 필요한 연료비용과 함께 화력발전별 대기오염물질 배출량을 고려하여 오염물질별 피해비용을 적용한 환경비용까지도 포함하여 분석하였다. 두 화력발전의 내구연한 30년 기간 동안 연간 발전량 10,669GWh일 때 LNG복합화력발전이 석탄화력발전보다 4조 7,511억원 더 많은 비용이 소요되는데 초기비용과 환경비용, 운영비용은 석탄화력발전이 더 높고 연료비용은 LNG복합화력발전이 더 높다. 하지만 두 화력발전의 연료비용의 차이가 너무 커서 결과적으로는 연료비용이 더 저렴한 석탄화력발전이 LNG복합화력발전과 비교하여 비용효율적이다. 다른 연간 발전량의 경우도 연료비용을 제외한 다른

비용 항목은 석탄화력발전이 더 높으나 두 화력발전의 경제성 비용분석결과로는 동일한 발전량을 생산하는데 석탄화력발전이 LNG복합화력발전보다 더 낮은 비용이 소요된다. 한편, 이러한 결과는 연료비용의 차이로 인한 것으로 두 화력발전의 내구연한 기간 동안의 연료비 비중은 석탄화력발전이 60.4%이고 LNG복합화력발전은 86.1%로 두 화력발전 모두 연료비 비중이 높으며 특히 LNG복합화력발전은 석탄화력발전보다 약 25%가 더 높아서 발전량이 더 낮을수록 두 화력발전 간의 경제성 비용 차이는 감소한다.

경제성 비용분석에 있어서 내생 및 외생변수로서 가장 큰 영향을 미치는 연료비와 할인율에 대한 민감도 분석결과로는 연료비가 1% 증가 및 감소 시 석탄화력발전의 총비용은 817억원이 각각 증가 및 감소하고 LNG복합화력발전은 연료비 단가가 석탄화력발전보다 더 높았던 만큼 1,573억원이 각각 증가 및 감소한다. 결국 동일한 비율로 연료비가 상승하면 석탄화력발전이 유리하고 하락 시에는 LNG복합화력발전이 상대적으로 유리하다. 할인율의 경우 1% 증가 시 석탄화력발전의 총비용은 4,985억원이 감소하고 LNG복합화력발전은 7,739억원이 감소한다. 1% 감소 시에는 5,394억원, 8,378억원이 각각 증가한다.

이러한 분석결과를 토대로 다음과 같은 몇 가지 시사점을 도출할 수 있다. 첫 번째로 경제성 비용분석 항목별로 실질적인 비용을 적용할 석탄화력발전대비 LNG복합화력발전의 경제성 평가는 석탄화력발전이 더 우수하며 이러한 결과는 석탄화력발전의 연료비 단가가 LNG복합화력발전의 52% 수준이어서 초기비용과 운영비용, 환경비용의 열세를 연료비가 극복하고도 총비용에서 더 비용효율적이다. 두 번째로 LNG복합화력발전은 석탄화력발전보다 환경성 및 환경비용측면에서 더 우수하다. 대기오염물질 배출량 측면에서 질소산화물을 제외한 미세먼지 등 다른 대상물질들은 석탄화력발전에서

더 많이 배출되며 이에 따른 대기오염의 사회적 비용도 더 많이 발생한다. 뿐만 아니라 이러한 결과는 대기오염물질 배출량 저감을 위한 설비비 및 운영비도 모두 석탄화력발전이 더 높은 상황에서 나타난 결과이므로 연료 특성에 따른 대기오염물질 배출량에 대해서 저감 설비 및 촉매 등의 비용적 측면으로 극복하는데 한계가 있음을 알 수 있다. 세 번째로는 화력발전의 경제성 비용분석에서 내생적 요인으로 가장 큰 비중을 차지하는 연료비와 외생적 요인으로 가장 큰 비중을 차지하는 할인율의 동일한 변화율이 미치는 영향은 외생변수인 할인율이 더 높다. 민감도 분석을 통해 보여준 결과와 같이 석탄화력발전의 경우 연료비 단가를 1% 증감 시 연료비 변화량은 817억원으로 석탄화력발전 총비용의 0.6%를 차지하며 1%의 할인율 증가 시에는 총비용의 3.69%인 4,985억원이 감소하고 1% 감소 시에는 5,394억원인 3.99%가 증가한다. LNG복합화력발전의 경우도 연간 발전량 10,669GWh 일 때 연료비 단가 1% 증감 시 연료비 변화량은 1,573억원으로 총비용의 0.86%를 차지하며 할인율이 1% 증가 시에는 총비용의 4.24%인 7,739억원이 감소하고 1% 감소 시에는 8,378억원인 4.59%가 증가한다. 두 화력발전 모두 연료비보다는 외생변수인 할인율 변화에 따른 결과값이 더 크다. 이는 두 변수가 화력발전의 내구연한 기간 동안에 영향을 미치는 항목과 방식에 따른 차이로 연료비 단가의 변화는 다른 비용항목에 영향을 미치지 않으나 할인율은 1회성 비용의 초기비용을 제외하고는 다른 대상항목에 영향을 미치므로 총비용의 경제성 평가에 더 큰 영향을 야기한다. 추가적으로 연료비 단가 1% 증감에 따른 결과값은 동일하나 할인율 1% 증감에 따른 결과값이 다른 이유는 적용방식의 차이로 연료비는 경제성 평가에 산술적 영향을 미치나 할인율은 내구연한동안의 시차에 따른 공급계산의 방식에 따라서 기하적인 영향을 미쳐 동일한 값의 증가 및 감소에 대한 결과값이 상이하다.



마지막으로 본 연구의 결과를 통해 알 수 있듯이 아직까지는 지금까지 알고 있는 사실과 다를 바 없이 비용적 측면에서 연료비의 차이로 인해 석탄화력발전이 LNG복합화력발전보다 우수하다. 하지만 할인율이 증가할수록 LNG복합화력발전이 더 유리해진다는 점을 고려하면 향후 미국 기준금리의 인상으로 인한 국내의 기준금리 인상의 가능성이 높으므로 이에 따른 할인율도 높아질 가능성이 있다. 또한 Choi Kee-Choo (2009)에 의하면 경유차량의 연식이 오래될수록 오염물질 배출량은 생산초기 배출량보다 많다는 실험 결과를 보여주는데 4년 이상은 1.2배, 7년 이상은 1.5배 등 점점 더 많은 오염물질이 배출된다는 것을 보여주고 있다. 이와 관련한 화력발전에 대한 연구결과

는 부재하여 본 연구에서는 이를 고려하지 못했지만 노후화가 진행될수록 더 많은 오염물질을 배출하는 것은 화력발전도 예외 될 수 없는 사례이므로 시간이 지날수록 LNG화력발전이 환경적으로 더 유리해지며 경제성 비용 측면에서도 석탄화력발전과의 격차는 줄어들어간다. 또한 대기오염물질의 사회적 비용의 경우 대기오염물질이 조기 사망과 질병유발 등 사람에게 미치는 영향이 크다는 것이 연구를 통해서 점점 더 밝혀지고 있는 것처럼 단순한 범위의 피해 비용이 아닌 피해의 범위와 정도에 대한 정확한 도출이 이루어진다면 경제성 비용 측면에서도 LNG복합화력발전의 입지는 점점 더 확대될 것으로 사료된다.

## References

- Choi, Eun-Ho, Yong-Sung Cho and Jun-Woo Park (2011), "A Study on Economic Evaluation of the Introduction of CNG-Hybrid Bus", *Journal of Energy & Climate Change*, 6(2), 3-18.
- Choi, Kee-Choo, Kyu-Jin Lee, Seong-Chae Ahn and Kang-Won Shin (2009), "An Evaluation and Management Strategy of Environmental Zone for Improving Air Quality in the Seoul Metropolitan Area", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 29(6), 693-702.
- Economic Statistics System, [www.ecos.bok.or.kr](http://www.ecos.bok.or.kr)
- Electric Power Statistics Information System, [www.epsis.kpx.or.kr](http://www.epsis.kpx.or.kr)
- Fann, N., C. M. Fulcher and B. J. Hubbell (2009), "The Influence of Location, Source, and Emission Type in Estimates of the Human Health Benefits of Reducing a ton of Air Pollution", *Air Quality, Atmosphere and Health* 2(3), 169-176.
- Holland M. and P. Watkiss. (2002), BeTa Version E1.02a Benefits Table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe. netcen
- Kang, Kwang-Kyu, Jang-Min Chu and Jong-Won Kim (2010), A Feasibility Study on LNG Vehicle Promotion Program, Korea Environment Institute.
- Kang, Kwang-Kyu and Jong-Won Kim (2012), Environmental Impact and Economic Analysis for Expanding Young-Heung Power Plants, Korea Environment Institute.
- KEPCO Engineering & Construction (2010), Construction Feasibility on Yeongheung 7&8, Arthur.
- Kim, Jong-Won (2016), "A Study on Environmental Evaluation and Feasible Subsidy of CNG-Hybrid Bus Comparing Euro-6 Diesel Bus", *Journal of Energy & Climate Change*,

11(2), 140-147.

- Korea Development Institute (2008), <https://bit.ly/2AoAeh1>
- Korea Energy Economics Institute (2017), Yearbook of Energy Statistics, Ulsan: Arthur. [www.keei.re.kr](http://www.keei.re.kr)
- Korean Statistical Information Service, [www.kosis.kr](http://www.kosis.kr)
- Korea South-East Power (2012), Report on Yeongheung 7&8, Arthur.
- Lee, Seung-Min, Seong-Yong Gong and Greem Lee (2015), Impact Analysis of Air Quality by Air Pollution Emitted from Large Stationary Emission Sources, Korea Environment Institute.
- Markandya, A. (1988), Economics of Greenhouse Gas Limitations: The indirect costs and benefits of greenhouse gas limitations. UNEP.
- Ministry of Environment (2017), <https://bit.ly/2RnLxgE>
- Oh, Seok-Hyun (2012), A Study on Benefit Calculation of CHP in Energy System Considering Technical Characteristic of Power System Operation (Doctoral Dissertation), Incheon: Incheon University.
- Park, Sang-Cheol (1997), A Study on Problems and Improvements of Environmental Impact Assessment System (Master's Thesis), Gyeongsang: Catholic University.
- Park, Dong-Won (2013), Impact of Coal-ash Landfill on Groundwater in the Yeongheung Power Plant in Korea (Master's Thesis), Gangwon: Yonsei University.
- Ricardo-AEA. (2014), Update of the Handbook on External Costs of Transport. European Commission.