

WADE Economic Model에 의한 분산형전원 분석

김용하* · 우성민 · 이광성

인천대학교

(2008년 4월 23일 접수, 2008년 5월 20일 수정, 2008년 5월 23일 채택)

Analysis of Decentralized Energy using WADE Economic Model

Yong-Ha Kim*, Sung-Min Woo and Kwang-Sung Lee

University of Incheon

(Received 23 April 2008, Revised 20 May 2008, Accepted 23 May 2008)

요 약

본 논문에서는 WADE Economic Model을 이용하여 분산형전원 구축 시나리오에 따른 우리나라 전력계통의 영향을 정량적으로 평가하였다. WADE Economic Model은 미래의 증가하는 전력수요량[kWh]을 충족시키기 위하여 고려대상기간 동안의 매 년도에 대한 판매전력량 부족분[kWh]을 산정하고 판매전력량 부족분[kWh]을 만족시키기 위한 신설발전설비를 시나리오에 따라 CG(Centralized Generation)전원과 DE(Decentralized Energy)전원인 두 가지 그룹으로 조합하여 담당하게 된다. 이와 같이 산정된 미래의 신설설비계획[kW] 및 발전량[kWh]을 근거로 발전설비 및 송배전설비 건설비[원], 설비운전유지비[원], 연료비[원], 환경비[원]를 계산하여 전력소매요금을 산정한다. 본 연구에서는 WADE Economic Model의 적용을 위한 우리나라 실 데이터를 구축하고 이를 WADE Economic Model에 적용하여 우리나라 전력계통에 분산형전원을 투입 시 미치는 영향을 분석함으로써 향후 우리나라 전력수급기본계획의 수립에 필요한 유용한 정보를 도출하도록 하였다.

주요어 : 중앙집중형 전원, 분산형 전원, 환경, 소매비용

Abstract — This paper analyzed quantitative effect on sorts of scenario for DE (Decentralized Energy) in the Korean Power System using WADE Economic Model. WADE Economic Model calculated shortage of power sales from the existing technologies above all. and it construct a new type of technologies according to sorts of scenario for DE. generating capacity and electricity generation is computed from this process. From now on can assess the side of environment meant CO₂, NO_x, SO_x, PM10 and cost meant electric retail cost that composed of construction, T&D, fuel, maintenance and environment.

Key words : CG, DE, Environment, Retail cost

1. 서 론

최근 에너지자원의 고갈과 지구온난화현상은 전 세계가 주목하고 있는 이슈이다. 에너지원의 해외의존도가 높은 우리나라에서는 국제적 환경규제에 대응하기 위해서

전력수요관리를 강화하고, 친환경적 전력정책을 수립하는 방향으로 분산형전원의 도입의 필요성이 증대되고 있는 시기이다. 이에 제 3차 전력수급기본계획에서는 분산형전원의 확대보급정책, 환경제약 등을 고려하여 전력수급의 안정 및 적정 전원구성을 도출하였다. 그러나 현재 전력수급기본계획의 수립과정에서는 분산형전원 및 환경의 영향을 반영하기위한 방법론이 미흡한 실정이다. 즉, 우리나라에서는 WASP 모형을 사용하여 전력수급기본계획을 수립하고 있으나 WASP 모형에서는 분산형전

*To whom correspondence should be addressed.
University of Incheon
Tel: 032-770-8434
E-mail: yhkim@incheon.ac.kr

원의 고려문제, 환경영향의 고려 문제 그리고 생산된 전력을 소비자에게 전송하기 위한 송배전망에 대한 모델이 적절히 반영되지 못하고 있다.

그러므로 이와 같은 전통적인 전원개발계획 방법론의 단점을 보완하고자 세계분산형전원연맹(World Alliance Decentralized Energy : 이하 WADE)에서 WADE Economic Model을 개발하였다. WADE Economic Model은 환경의 문제, 분산형전원의 특성 및 송배전망의 특성을 고려하여 중앙 집중형 발전방식(Centralized Generation : 이하 CG)과 분산형 전원(Decentralized Energy : 이하 DE)의 비중에 따라서 변화하는 시나리오 별로 향후 20년간 신규수요를 충족하기 위하여 필요한 전력소매비용을 계산할 수 있는 모형이다. 즉, 증가하는 전력수요에 대응하기 위하여 CG전원과 DE전원으로 구성비율을 변화시킬 때 이들의 변화에 따른 경제성(전력소매비용)과 환경적인 영향을 평가하기 위한 Package이다. 국외의 경우에는 WADE Economic Model은 이미 200여개의 국가와 지역에서 사용되고 있다.

이에 본 논문에서는 WADE Economic Model에 적용하기 위한 우리나라의 실 계통자료를 구축하고 우리나라 전력제통에 분산형전원을 투입 시 미치는 영향을 다양한 측면으로 분석함으로써 향후 우리나라 전력수급기본계획의 수립에 필요한 유용한 정보를 도출하도록 하였다.

2. WADE Economic Model

2-1. WADE Economic Model의 개요

WADE Economic Model은 미래의 20년 후까지 증가하는 전력수요에 대응하기 위하여 CG전원과 DE전원의 Mix를 변화시킬 때 이들의 변화에 따른 경제성과 환경적인 영향을 평가하기 위한 모형이다. WASP모형에 비하여 WADE Economic Model의 특징은 다음과 같다.

(1) WASP모형은 에너지량을 발전단을 기준으로 하여 해석하기에 분산형전원의 특성을 잘 반영할 수 없다. 이에 반해 WADE Economic Model은 수전단을 기준으로 해석하므로 송배전손실의 경감과 같은 DE전원의 특성이 보다 정확히 반영된다.

(2) WASP모형은 환경문제를 SO_x, NO_x를 고려하는데 반해서 WADE Economic Model은 SO_x, NO_x 외에 PM10, CO₂까지 고려된다. 또한, CO₂ 목표연도의 감축 목표량과 이때의 배출가격을 고려하므로 근래의 환경문제와 관련된 각종 이유를 보다 면밀히 검토할 수 있다.

(3) WADE Economic Model은 DE전원의 단점인 피크기여율, Random Outage 등이 고려되므로 DE특성이 잘 반영되어 객관적인 입장에서 해석할 수 있다.

(4) WADE Economic Model의 또 다른 특징은 에너지량을 기반으로 해석한다. 즉, WASP모형에서는 설비

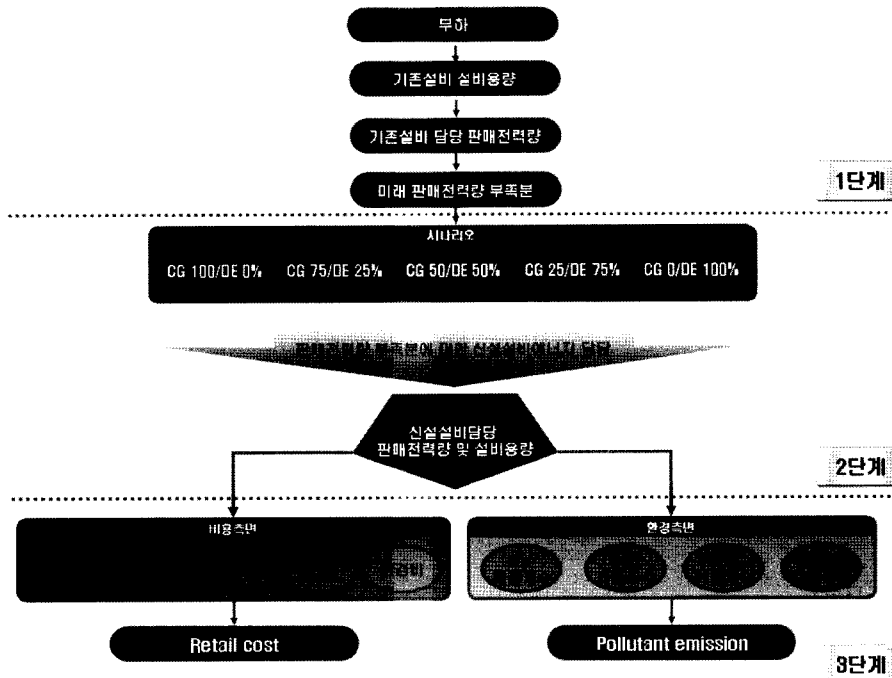


Fig. 1. Flow chart of WADE economic model.

용량[MW]을 적용하여 에너지량[MWh]을 도출하는데 반해 WADE Economic Model은 에너지량[MWh]을 이용하여 설비용량[MW]을 구하는 방식이므로 에너지 측면에서의 효율성이 높다.

한편, WADE Economic Model의 계산 흐름도를 간단히 나타내면 Fig. 1과 같다.

단계 1 : 미래년도의 수요량을 기존설비가 담당하고 기존설비의 발전량 한계치[MWh]는 CG인 경우에만 송배전손실률을 고려하고, DE전원을 제외하여 판매전력량을 산정하고 부하에서 기존설비의 판매전력량의 차인 판매전력량 부족분[MWh]을 계산한다.

단계 2 : 전원종별 판매전력량 부족분 담당량[MWh]을 충족시키기 위해서 시나리오별로 CG전원과 DE전원에 대한 신설설비의 전원종별 담당 판매전력량을 산정하고 이에 송배전손실률을 고려하고 시나리오별 전원종별 발전량[MWh]을 계산한다. 또한, 발전량으로부터 신설설비의 용량[MW]을 결정한다.

단계 3 : 단계 2로부터 크게 비용측면과 환경측면을 분석한다. 비용측면으로는 신설발전설비[MW]계획과 발전설비의 확충으로 인하여 송배전망의 보강을 위한 송배전설비에 운전유지비, 연료비, CO₂ 배출량으로부터 한

경비를 산정하여 이들 비용의 합인 소매비용을 도출한다. 후자로는 감축목표량에 근거하여 각 신설설비의 CG전원 및 DE전원의 전원종별 NO_x, SO_x, PM 10, CO₂의 배출량을 도출한다.

2-2. WADE Economic Model의 입력 및 출력 Worksheets

WADE Economic Model의 입력은 Fig. 2와 같이 ① In capacity and generation Worksheet, ② In Pollution Worksheet, ③ In costs Worksheet, ④ In growth properties Worksheet로 구성되어 있다.

상기의 입력데이터를 토대로 시나리오별 결과는 Fig. 3과 같이 신설전원의 설비용량 및 에너지량의 전원구성 측면과 설비비, 송배전비, 운전유지비, 연료비, 환경비등의 비용측면 그리고 NO_x, SO_x, PM 10, CO₂의 환경측면으로 구분되며 Table이나 Chart의 형태로 도출되게 된다.

3. WADE Economic Model의 적용을 위한 우리나라 실 계통자료의 구축

WADE Economic Model의 입력의 기준은 각 Worksheets

Table (a) In capacity and generation

Capacity (MW)	Lead Factor	Generation (TWh/yr)	Generation (TWh/yr) (weighted)	Future Load Factor
Coal ST	0.000	0.000	0.000	0.000
Oil ST	0.000	0.000	0.000	0.000
Nuclear ST	0.000	0.000	0.000	0.000
Coal T&B Engines	0.000	0.000	0.000	0.000
Gas CC (CCGT)	0.000	0.000	0.000	0.000
Biomass	0.000	0.000	0.000	0.000
Hydro	0.000	0.000	0.000	0.000
Wind	0.000	0.000	0.000	0.000
Solar	0.000	0.000	0.000	0.000
Waste-to-Energy	0.000	0.000	0.000	0.000
Empy	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	0.000	0.000	0.000	0.000

(a) In capacity and generation

Table (b) In Pollution

Current	Future	Future	Future	Future	Future	Future	Future	Future	Future
CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Coal ST	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Oil ST	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nuclear ST	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coal T&B Engines	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gas CC (CCGT)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Biomass	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hydro	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wind	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Solar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Waste-to-Energy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Empy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(b) In Pollution

Table (c) In costs

0 Installed Cost (US\$ MW)	Avg. Yearly US\$ Increase (Reduction) (US\$ MW)	2024 Return on Capital (Financing) Rate (%)	Years
Coal ST	0	0.0%	3
Oil ST	0	0.0%	3
Nuclear ST	0	0.0%	3
Coal T&B Engines	0	0.0%	3
Gas CC (CCGT)	0	0.0%	3
Biomass	0	0.0%	3
Hydro	0	0.0%	3
Wind	0	0.0%	3
Solar	0	0.0%	3
Waste-to-Energy	0	0.0%	3
Empy	0	0.0%	3
Total	0	0.0%	3

(c) In costs

Table (d) In growth properties

System Growth Properties	System Properties	# of Safety Requirement Threshold
Annualized Demand Growth	0.00%	17 of 19 safety surplus
Annualized Peak Growth	0.00%	17 of 19 safety surplus
Year to be Analyzed	2024	17 of 19 safety surplus
Avg. T&D Losses	0.0%	17 of 19 safety surplus
Peak T&D Losses	0.0%	17 of 19 safety surplus
Safety Outage Levels		17 of 19 safety surplus
Coincident Peak %	0.05	17 of 19 safety surplus
US Safety Margin	3	17 of 19 safety surplus
T&D Safety Margin	3	17 of 19 safety surplus
DE Safety Margin	3	17 of 19 safety surplus
DE System Outage	100%	17 of 19 safety surplus

(d) In growth properties

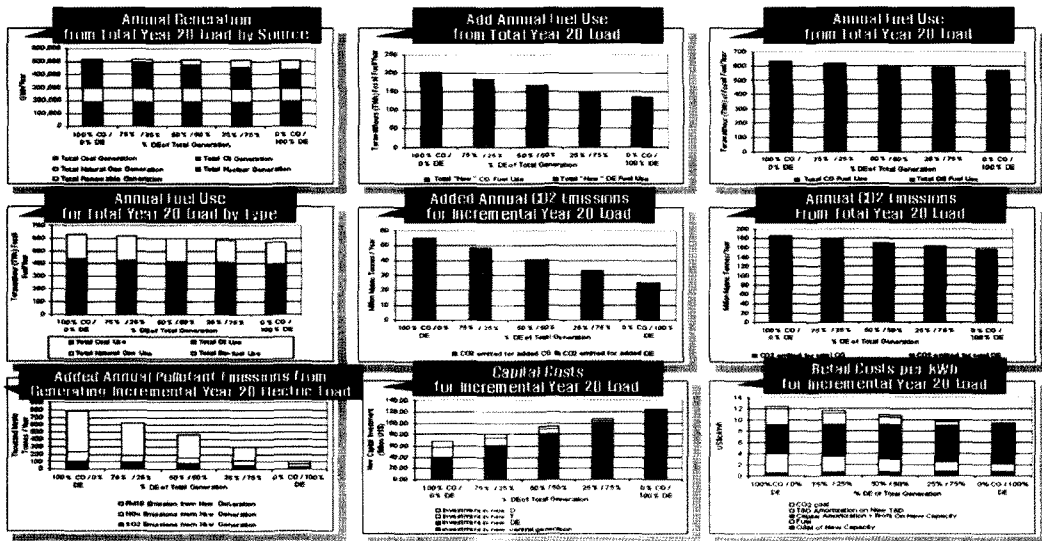
Fig. 2. INPUT Worksheets.

	12	6	6	8%
	2.50	1.03	1.48	50%
	1,23980	0,11079	1,12912	0,01065
	1,23980	0,11079	1,12912	0,01065
	0.03	0.01	0.03	91%

	0.08471	0.00471	0.00000	0.00000
	0.03451	0.00060	0.02783	0.00678
	0.11922	0.00130	0.02783	0.23142

Table

Future Matrix



Output Graph

Fig. 3. OUTPUT Worksheets.

별로 제 3차 전력수급기본계획을 입력하는 것을 원칙으로 하였으며 기타 발전설비현황, 발전소별 발전현황의 자료, 집단 에너지사업관련 자료집, 대기환경보전법, 제 2차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획, 장기 송·변전 설비계획 등의 자료를 사용하여 구축하였다.

3-1. Worksheet : IN CAPACITY AND GENERATION

IN CAPACITY AND GENERATION Worksheet는 ① Modelling Settings과 ② Existing Capacity and Generation으로 구분되어 있다.

(1) Modelling Settings

- Base Year

Base Year는 분석의 시작년도로써 제 3차 전력수급기본계획의 시작년도(실적Data)인 2005년을 Base Year로

설정하였다¹⁾.

- Peak Demand

Peak Demand는 시작년도의 최대부하로서 제 3차 전력수급기본계획에는 상한수요, 기준수요, 하한수요의 3가지 수요가 예측되어 있으나 기준수요 최대전력에 근거하여 Base Year인 2005년도의 수요관리 후 최대전력인 54,631[MW]를 Peak Demand로 설정하였다¹⁾.

(2) Existing Capacity and Generation

- CG와 DE의 전원구분

CG전원과 DE전원을 급전형태로 구분하였다. 즉, 우리나라의 발전기는 급전의 형태에 따라 중앙, 비 중앙, 기타로 구분되어지므로 발전기가 중앙이면 CG전원으로 분류하고 비 중앙과 기타는 DE전원으로 하였다. Technology type별 분류는 사용연료에 따라 구분하였으며 우리나라 계통의 경우 Fig. 4와 같이 CG전원은 14가지, DE전원

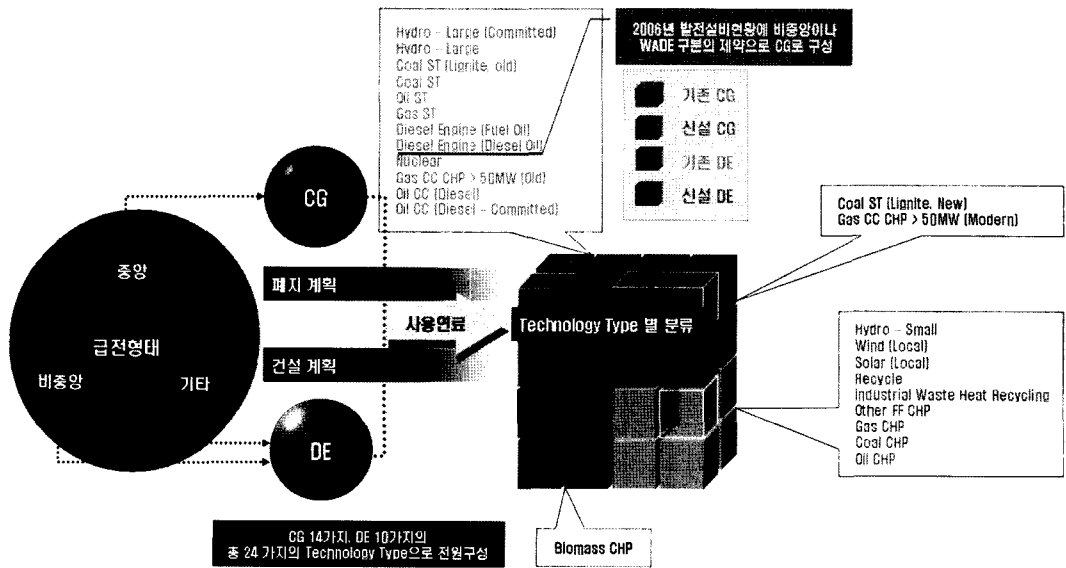


Fig. 4. Decision by a sort of CG and DE in Korea.

은 10가지로 총 24가지의 Technology Type으로 전원이 구성되어있다^[1].

- Capacity, Load Factor, Generation-reported

Fig. 4를 근거로 하여 CG전원과 DE전원의 Technology type별 Capacity, Load Factor, Generation-reported를 입력하였다. 이때 Load Factor는 Technology type별로 총 Capacity와 총 Generation-reported를 계산한 후 이를 이용하여 식 (1)로서 Technology type별 Load Factor를 계산하는 것으로 하였다^{[1][2]}.

$$\text{Load Factor [\%]} = \frac{\text{Generation-reported}}{\text{Capacity} \times 8760} \times 100 \quad (1)$$

- Future Load Factor

Future Load Factor는 Fig. 5와 같이 먼저 기준년도 발전량에서 건설계획이 없는 발전설비의 발전량에 대한 차를 구하였다. 이에 대한 발전량을 Technology Type으로 구분하기 위해서 대상이 되는 발전설비를 기존설비 부하율에 기준 factor를 고려하여 연도별 Technology Type

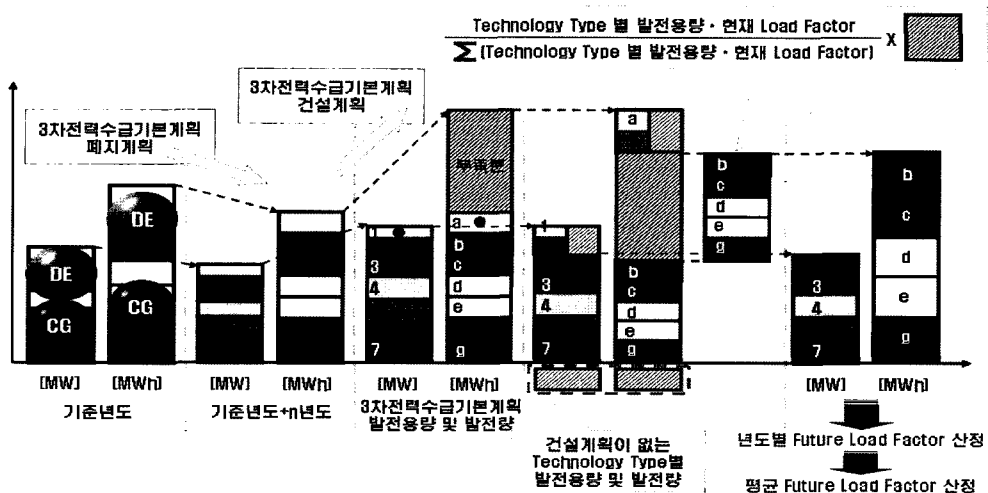


Fig. 5. Input method of future load factor.

별 발전량을 도출하였다. 가중 factor를 고려한 이유는 Merit Order상 상시 발전하는 에너지원이 있고 침두부하 시 발전하는 에너지원을 고려하기 위함이다. 이를 통해서 연도별 Future Load Factor를 도출하였고, 입력이 연도별로 입력하는 것이 아니라 하나의 값을 입력하므로 각 연도별 평균값으로 Future Load Factor를 적용하였다^{[13]~[15]}.

3-2. Worksheet : IN POLLUTION

IN POLLUTION Worksheet는 ① Pollution, ② CO₂ factors, ③ Heat Rates/Fuel Consumption으로 구분되어 있다.

(1) Pollution

Pollution은 NO_x(Nitrogen Oxide), SO_x(Sulfur Dioxide), PM10(Particulate Matter 10)의 3가지 오염물질로 구분할 수 있으며, 각 항목은 Current, Future(exist. Equip),

Future(New Equip)로 나누어서 입력한다. 이때 현재의 오염물질 배출량(Current)은 자료에 의해서 가능하나 기존설비가 미래에 감축하는 Future(exist. equip)와 신설설비의 Future(New. equip)는 예측된 자료의 구축이 어렵기 때문에 전자는 현재의 값에서 10[%]를 감소시키는 것으로 하였으며, 후자는 20[%]를 감소시키는 것으로 하였다^[16].

(2) CO₂ factors

CO₂ factors는 국내의 연료별 탄소배출 계수가 존재하지 않기 때문에 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 탄소배출계수를 이용하였다^[17].

(3) Heat Rates/Fuel Consumption

Existing Mix 및 Future Plants는 열소비율(Heat Rate)이며 현재 발전원의 열소비율인 Existing Mix는 Technology Type별로 열소비율 구분하여 평균중분의 평균값을 적용하였으며 Future Plants는 Technology Type별 가장 우

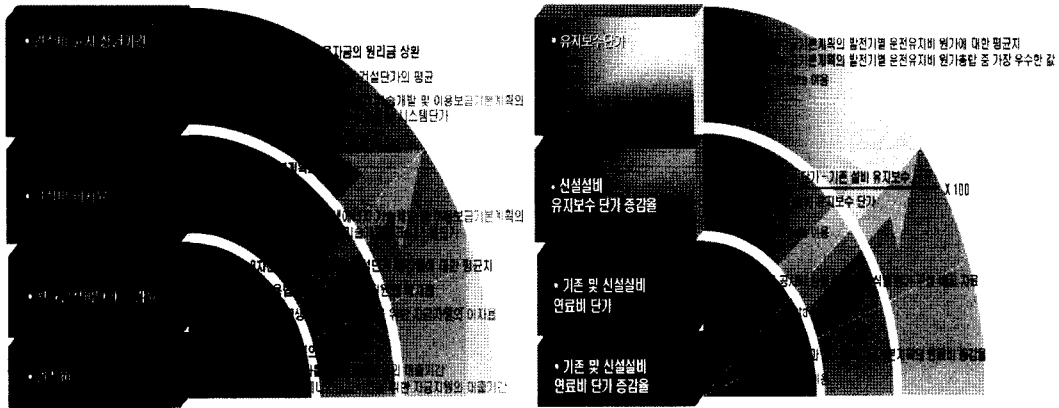


Fig. 6. Input data about IN COST Worksheet.

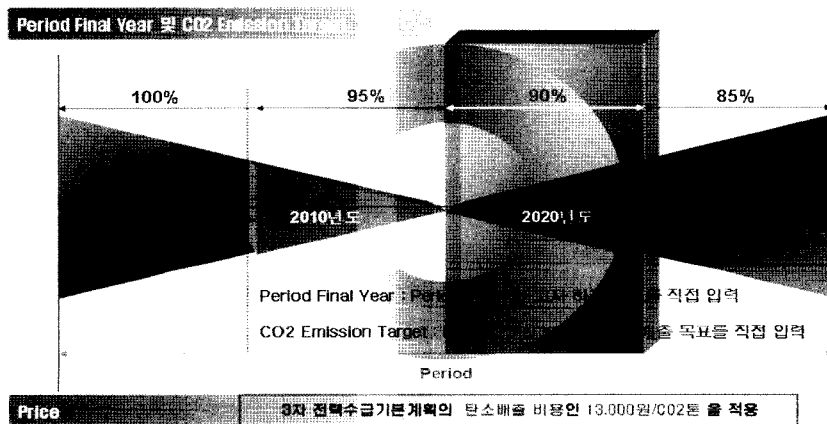


Fig. 7. Input data about IN COST Worksheet (2).

수한 열소비율을 적용하였다. 단, DE의 경우에는 다른 자료의 취득이 상당히 어려우며 이를 합리적으로 결정하기란 상당히 어렵다. 이에 본 논문에서는 국외의 WADE Economic Model의 입력자료를 이용하여 산정하였다^{[7][8]}.

3-3. Worksheet : IN COST

IN COST Worksheet는 ① Capital/Investment Costs, T&D Costs for new Capacity, ② Average Operating Maintenance & Fuel Expenses, ③ CO₂ Emissions Costs로 구분되어 있다.

(1) Capital/Investment Costs, T&D Costs for new Capacity and Average Operating Maintenance&Fuel Expenses

각 설비에 관련된 설비용량, 운전유지비, 연료비는 Fig. 6과 같은 자료를 이용하였다^{[11][12]}.

T&D costs에서 송배전망 건설비는 대부분 [km]당 단가를 적용하고 변전투자비는 [개소]당 단가를 적용하므로 송배전설비의 건설단가는 전체 송배전망 건설비에 대해서 전체 설비용량으로 나누어서 [km]당 건설비를 산정하였다^{[11][14]}.

(2) CO₂ Emissions Costs

CO₂ Emission costs는 CO₂ Emission costs[Cent/CO₂-TON]을 Period별 4단계로 설정하여 단계별 CO₂ 배출량 감축 목표를 설정하며, CO₂ Emission costs를 입력하게 구성되어있다. 본 논문에서는 Fig. 7과 같이 입력하였다^[11].

3-4. Worksheet : IN GROWTH PROPERTIES

IN COST Worksheet는 ① System Properties, ② Existing Capacity Yearly Retirement Determination and Future Growth Determination으로 구분되어 있다.

(1) System Properties

System Properties에서는 Annualized Demand Growth, Annualized Peak Growth, Avg. T&D Losses, Peak T&D Losses, Coincident Peak, Back-up Capacity, DE random Outage, DE Peak Deliverability Penalty, T&D Safety Requirement Trend를 입력한다.

• Annualized Demand Growth and Annualized Peak Growth

식 (2) 및 식 (3)로서 Demand Growth 및 Peak Growth의 증가율의 평균치를 구하여 입력 자료로 하였다^[11].

Annualized Demand Growth[%]

$$= \frac{\sum_{i=1}^N \frac{FGE_i - BGE_i}{BGE_i} \times 100}{N} \quad (2)$$

Annualized Peak Growth[%]

$$= \frac{\sum_{i=1}^N \frac{FPL_i - BPL_i}{BPL_i} \times 100}{N} \quad (3)$$

단, FGE : 해당년도발전량[GWh]

BGE : 전년도발전량[GWh]

FPL : 해당년도최대전력[GW]

BPL : 전년도최대전력[GW]

N : 초기년도와 최종년도의 차[년]

i : 해당년도[년]

• Avg.T&D Losses

송배전손실을 감소시키는 것은 어려운 것으로 판단하여 2001년도부터 5개년도의 평균치로 Avg.T&D Losses 값을 입력하였다^[13].

• Coincident Peak[%]

Coincident Peak[%]는 Peak Load/Non-coincident Peak Load로 정의되며 이는 계통 전체의 Peak가 발생하는 동안 개별적으로 Peak가 발생하는 User의 비율을 의미한다. 즉, Coincident Peak[%]가 85[%]라는 의미는 계통의 최대부하가 발생하고 있는 시점에서 개별수용가 중 85[%]가 Peak가 발생하고 있고 나머지 15[%]의 개별수용가는 Peak가 발생하고 있지 않았음을 의미한다. 실제적으로 전력계통에서 최대부하는 동시에 발생하지 않고 그 발생시간에 차이가 발생하게 된다. 그러므로 최대부하 발생시각 또는 발생시기의 분산을 표시할 필요가 있으며 Coincident Peak[%]는 1부등률의 의미이다. 본 논문에서는 일반적으로 우리나라의 1차변전소 상호간의 부등률은 1.13으로 조사되고 있으며 이로서 Coincident Peak %는 1/1.13=88.5[%]로 입력하였다.

• Back-up Capacity

본 모델은 증가하는 수요를 만족시키기 위한 Capacity를 구축(Building) 하기 위하여 Back-up Capacity를 이용(Build)하며 “CG Safety Margin”, “T&D Safety Margin” 그리고 “DE Safety Margin”는 이러한 Back-up Capacity의 적당한 [%]를 의미한다. 그러므로 본 논문에서는 제 3차 전력수급기본계획에서 결정한 우리나라 설비예비율을 사용하여 CG Safety Margin과 DE Safety Margin을 결정하였다. 설비예비율은 전국기준과 수도권기준으로 나누어 산정되어 있다. 실제적으로 CG 전원은 우리나라 수요집중권인 수도권(경인지구)과는 멀리 떨어진 곳에 위치하고 있으며 향후 DE전원은 부하 집중권에 배치되어야 하므로 이러한 특성을 반영시키고자 즉, 전국기준 설비예비율이 수도권기준 설비예비율보다 높으므로 향후 DE전원이 적절히 반영될 때는 이러한 설비예비율을 평활화시킬 수 있어야 하므로 CG

Safety Margin은 수도권 기준 설비에비율을 DE Safety Margin은 전국기준 설비에비율을 이용하여 산정하도록 하였다¹¹⁾.

• DE random Outage

“DE random Outage”는 DE Technology에서 1년간에 걸쳐 발생하는 Unplanned Outage의 %를 의미한다. 현재 우리나라에서 DE전원의 DE random Outage에 관련된 자료는 존재하지 않는다. 그러므로 CG전원의 고장 정지율 중에서 가장 일반적인 최소값인 4.9[%]를 DE random Outage값으로 결정하였다¹¹⁾.

• DE Peak Deliverability Penalty

“DE Peak Deliverability Penalty”는 첨두부하 시 계통부하를 담당하지 못하는 DE Capacity의 [%]로서 DE Peak Capacity를 계산할 때 사용된다. DE전원의 Peak 기여율 중 집단 중앙을 제외한 평균치를 DE전원의 Peak Deliverability Penalty로 적용하였다¹¹⁾.

• T&D Safety Requirement Trend

현재 우리나라의 송배전망은 혼잡비용까지 고려하여 충분한 여유용량을 가지고 있다. 특히 전력계통의 전압 안정도 및 과도안정도를 만족시키기 위하여 송전망은 용량의 60[%] 이내에서 보통 운전하고 있다. 본 논문에서는 실제계의 조류계산을 수행해본 결과 송전망은 충분한 여유를 가지고 있는 것으로 결과가 도출되었다. 그러므로 매년도 충분한 송전용량의 여유분을 가지고 있으므로 T&D Safety Requirement Trend의 값은 0으로 결정하였다¹¹⁾¹⁵⁾.

(2) Existing Capacity Yearly Retirement Determination, and Future Growth Determination

Existing Capacity Yearly Retirement Determination는 기존설비 중에서 폐지되는 설비를 입력하는 부분이

다. Future Growth Determination는 Annualized Demand Growth[%]로 인하여 기존의 발전설비에서 생산하는 발전량이 부족할 때 어떠한 전원이 이를 담당해야 하는가를 결정하는 부분이다. 이에 연도별 에너지원별 발전량 중에서 발전량이 증가하는 부분만을 적용하여 Future Growth Determination의 입력 값으로 이용하였다. 이러한 에너지원별 발전량을 Technology Type별로 구분하여 이를 구성비율로 도출하고 식 (4)와 같이 해당 에너지원별을 발전설비의 비율로 분배하였다.

$$Generation_i^k = \frac{Capacity_i^k}{\sum_k Capacity_i^k} \times Generation_i \quad (4)$$

단, i : 해당년도

k : Technology Type

또한, Future Peak Capacity[%] of Total이라는 입력 자료는 각 Technology별로 새로이 창출되는 Peak Load에 대한 Capacity share를 결정해야 한다. 첨두부하를 담당하는 발전원과 Base Load를 담당하는 발전원은 다르므로 CG전원은 Peaking Capacity를 Fig. 8과 같이 현재 각 시간대별로 필요한 전력수요를 맞추기 위해 가동한 발전원 중 계통한계가격(SMP : System Marginal Price)이 가장 비싼 LNG 발전원을 Future Peak Capacity [%] of Total로 정하였다. DE전원은 피크 기여율[%]을 적용하였다¹¹⁾¹⁶⁾.

4. WADE Economic Model의 적용결과

WADE Economic Model의 결과는 제 3차 전력수급

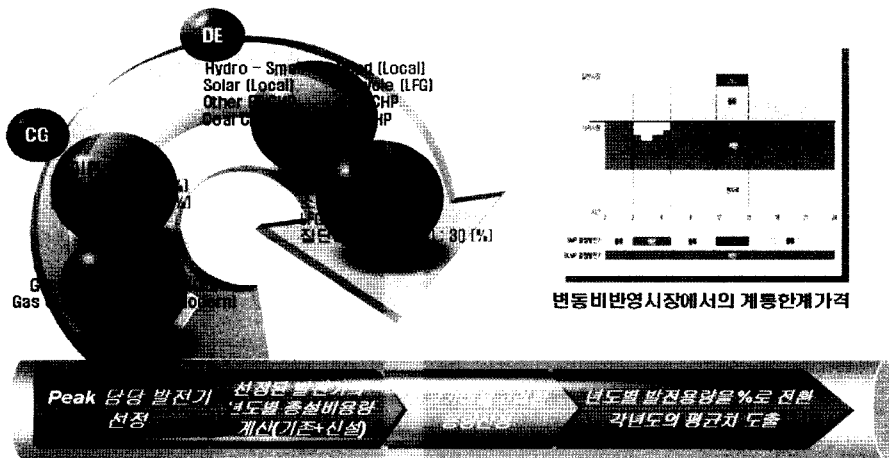


Fig. 8. Future peak capacity [%] of total.

기본계획의 최종년도의 2020년을 대상으로 하였으며 전 원구성, 오염물질, 비용부분으로 구분하여 분석하였다.

4-1. WADE Economic Model의 전원구성결과

Fig. 9는 판매 전력량 부족분을 CG전원과 DE전원의 시나리오에 의해 발전량으로 변환했을 때의 결과이다. Fig. 9는 기존설비 및 신설설비가 담당해야할 총 발

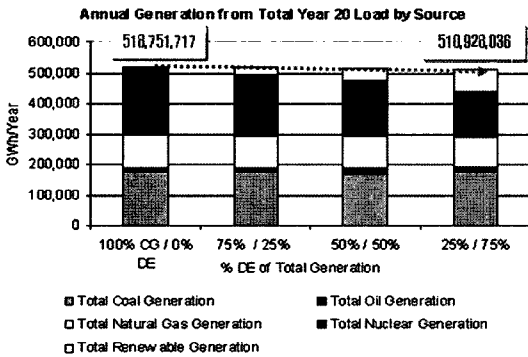
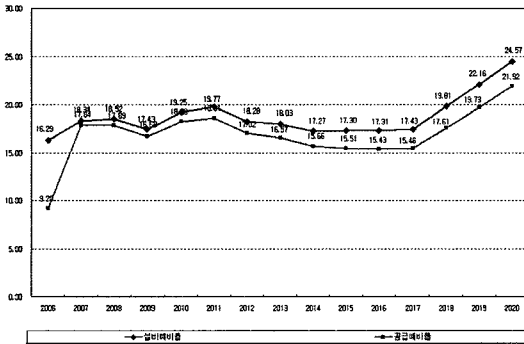


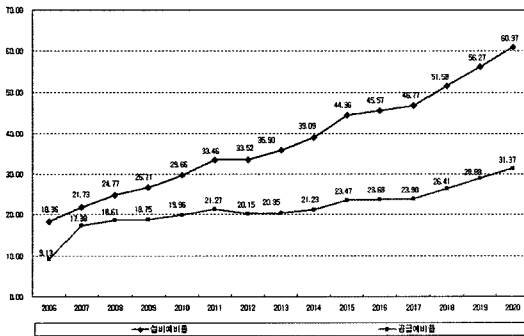
Fig. 9. Energy served for CG & DE [MWh].

전량을 CG전원이 담당하면 518,751,717[MWh]을 발전량이 필요하며, DE전원이 담당하면 510,928,036[MWh]의 발전량이 필요하다. 즉, DE전원은 송전손실이 거의 없으므로 에너지측면에서는 CG전원보다 유리한 것이 정량적으로 산정되었다. 전원종별 담당발전량에서 설비이용률을 고려하여 발전용량을 설비에비율과 전원구성비를 측면으로 구분하여 분석하였다. 우선 CG전원과 DE전원의 설비에비율은 Fig. 10과 같다.

2005년도 실적자료의 실효 설비에비율(걸보기 설비에비율)은 8.0%(9.4%)이며, 제 3차 전력수급기본계획에서 2020년도 설비에비율은 22.8%(31.3%)이다. 본 논문에서 WADE Economic Model을 적용하여 2020년도 설비에비율은 CG전원이 100%[담당 시 21.9%(24.6%)], DE전원이 100%[담당 시 31.3%(60.9%)]로 분석되었다. CG전원이 100%에 비하여 DE전원이 100%가 크게 도출된 원인은 DE전원의 부하율이 CG전원보다 작기 때문이다. 따라서 CG전원의 투입량이 많아지면 설비에비율이 작아지는 반면 DE전원의 투입량이 많아지면 설비에비율은 커진다. 특히, DE전원의 걸보기용량을 기준으로 한 설비에비율이 과다하게 크게 도출된

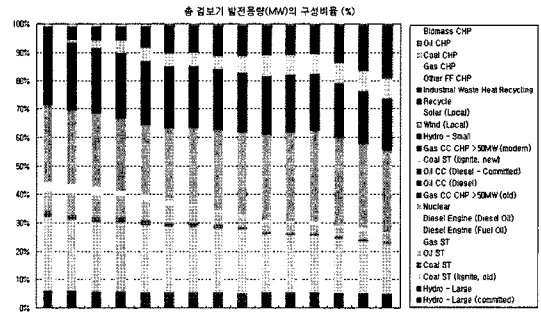


(a) CG 100% / DE 0%

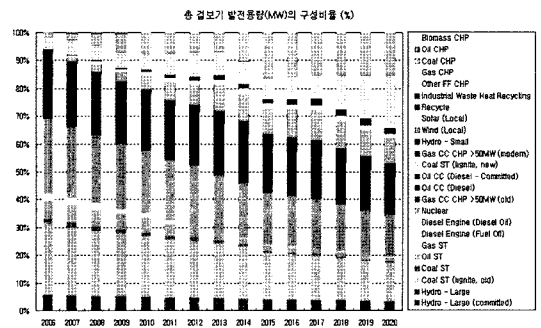


(b) CG 0% / DE 100%

Fig. 10. Reserve for CG & DE [%].



(a) CG 100% / DE 0%



(b) CG 0% / DE 100%

Fig. 11. Generation capacity constitution for CG & DE [%].

원인으로는 DE전원의 피크기여율이 작기 때문인 것으로 분석되었다 즉, WADE Economic Model에서 DE전원의 피크기여율의 입력자료인 DE Peak Deliverability Penalty의 값에 의한 것이다. CG전원과 DE전원의 전원 구성비는 Fig. 11과 같다.

2005년도 실적자료의 주요전원 구성비율은 원자력 28.5[%], 유연탄 27.0[%], LNG 26.4[%]이며, 제 3차 전력수급기본계획에서 2020년도 전원구성비율은 원자력 29.0[%], 유연탄 27.4[%], LNG 27.7[%]이다. WADE Economic Model을 적용하여 (a)와 같이 2020년까지의 부족발전량을 CG전원이 100[%]담당하여 기존발전설비와 합한 걸보기 발전설비의 구성비율은 원자력 29.0[%], 유연탄 25.0[%], LNG 35.3[%]이고, DE전원이 0.8[%]로 분석되었다. 제 3차 전력수급기본계획에서의 DE전원의 담당분을 CG전원이 담당하기 때문에 LNG의 비율이 증가된 것으로 분석되었다. (b)와 같이 DE전원이 100% 담당하여 기존발전설비와 합한 걸보기 발전설비의 구성비율은 원자력 15.3[%], 유연탄 13.7[%], LNG 13.0[%]이고, DE전원이 51.7[%]로 분석되었다. 제 3차 전력수급기본계획에서 CG전원의 담당분인 원자력, 유연탄, LNG와 비교하여 비율이 상당히 감소하였으며, 이를 DE전원이 담당하게 되므로 DE전원의 비율이 증가한 것으로 분석되었다.

4-2. WADE Economic Model의 환경측면결과

신규CG전원과 DE전원의 CO₂, NO_x, SO_x, PM10 측면은 Fig. 12와 같다.

Fig. 12의 (a)에서 2020년까지의 신설설비에 대한 CO₂ 배출량을 산정한 결과, CG전원이 100[%]담당 시 55.687 [Mt-CO₂], DE전원이 100[%]담당 시 24.827[Mt-CO₂]로 산정되었으며, CO₂ 배출량은 DE전원이 담당할 경우 CG전원에 비하여 30.861[Mt-CO₂]가 절감되며, 비율은 약 55[%]가 되었다.

Fig. 12의 (b)에서 2020년까지의 신설설비에 대해서 NO_x, SO_x, PM10 배출량을 산정한 결과, CG전원이 100[%]담당 시 Nox는 120.129[TON], SO_x는 114.919 [TON], PM10은 555.256[TON], DE전원이 100[%]담당 시 NO_x는 39.250[TON], Sox는 32.054[TON], PM10은 28.564[TON] 으로 도출되었다. 미래년도 신설설비를 DE전원을 100[%]로 담당하면 CG에 비하여 NO_x는 67[%], SO_x는 72[%], PM10은 95[%] 감소하였다. NO_x, SO_x, PM10 배출량도 CO₂와 마찬가지로 DE전원으로 구성하면 배출량이 줄어드는 것으로 산정되었다. 특히, PM10은 타 오염물질에 보다 배출량이 많은 원인은 우리나라 전원구성에 석탄이 차지하는 비중이 높기 때문인 것으로 분석되었다.

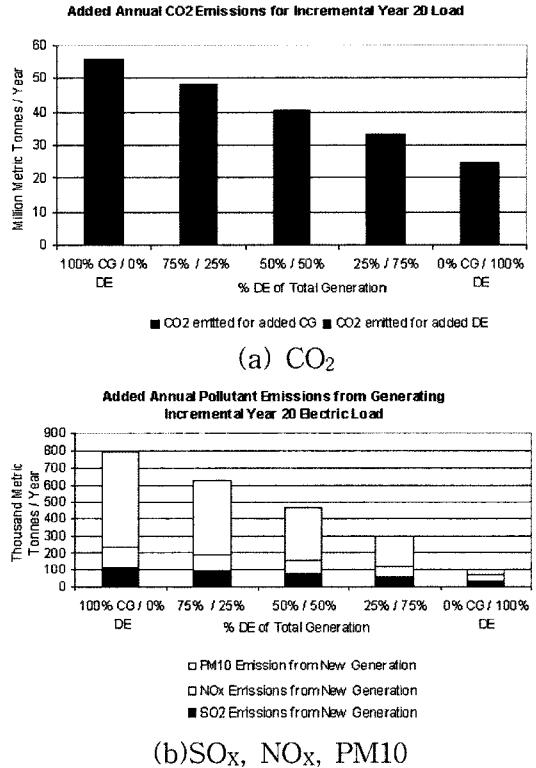


Fig. 12. CO₂, SO_x, NO_x, PM10 emission for CG and DE.

4-3. WADE Economic Model의 비용측면결과

신규CG전원과 DE전원의 Retail Cost 측면의 결과는 Fig. 13과 같다.

2020년까지의 신설설비에 대해서 Retail Costs를 산정한 결과, CG전원이 100[%]담당 시 12.405[Cent/kWh], DE전원이 100[%]담당 시 9.559[Cent/kWh]로 산정되었으며, DE전원이 23[%] 감소하여 Retail Cost측면에서 DE전원으로 설치하는 것이 유리한 것으로 계산되었다.

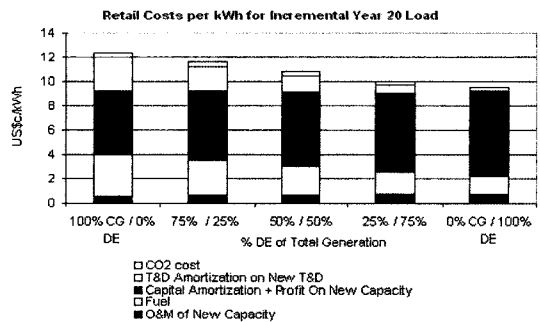


Fig. 13. Retail Cost emission for CG and DE.

세부적인 항목으로는 다음과 같다.

① CO₂ Cost/Fuel Cost : 에너지효율이 높고, 신재생 에너지를 사용하는 DE전원의 담당비율이 높을수록 감소하는 추세이다.

② T&D Cost : 송배전설비를 저감할 수 있는 DE전원의 담당비율이 높을수록 감소하는 추세이다.

③ Capital Cost : Total Capital Costs는 DE전원이 CG전원에 비해 83[%] 증가하였으나 Retail Costs에서는 '에너지이용합리화를 위한 자금지원' 및 '신재생에너지 보급용자정책'에 의해서 32% 증가하는 것으로 그 차이가 많이 감소하였다. 그러나 현재의 DE 보급정책에도 불구하고 DE 담당비율이 높을수록 감소하는 추세이다.

④ O&M Cost : DE전원의 담당비율이 높을수록 감소하는 추세이다. 이는 CG전원에 비해 DE전원의 기술은 초기단계에 있으며 이로 인한 시스템 취약성은 O&M 비용을 많이 필요로 한다.

5. 결 론

본 논문의 주요결과는 다음과 같다.

[1] 판매전력량 부족분을 CG전원보다는 DE전원으로 담당하면 할수록 송전손실만큼 에너지측면에서 덜 생산해도 되므로 국가의 에너지 절약차원에서는 더 효과적으로 분석되었다.

그러나, 이를 신규설비용량으로 변환 시 DE전원은 건설이 상당히 많이 되어야 되는 것으로 분석되었다. 즉, 2020년에 판매전력량 부족분을 CG전원을 100[%]로 담당할 경우 설비예비율은 21.9[%]이며, DE전원은 31.3[%]로 나타났으며, 이는 DE전원은 CG전원에 비해 효율이 낮고 설비의 가동에 제약으로 인한 것으로 산정되었다. 이에 더하여 실효용량보다는 겉보기 설비용량은 더욱 차이가 난다. 이는 DE전원이 결정적으로 피크부하 시에 기여율이 낮다는 것을 의미한다.

[2] 환경적인 측면에서는 CG전원보다는 DE전원이 더 효과적이라는 것이 정량적으로 분석되었다. CO₂ 측면에서는 2020년까지 DE 담당할 경우 최대 55[%]까지 절약할 수 있는 것으로 분석되었다. NO_x는 67[%], SO_x는 72[%], PM10은 95[%]로 감소되어 DE전원으로 구성하면 배출량 감소에 효과적이다. 이는 우리나라가 교토의정서 상에 2차 의무기간에 이행된다면 환경오염배출량이 상당히 많은 우리나라의 경우 매우 효과적이다.

[3] 비용측면으로 신설설비에 대해서 Retail Costs를 산정한 결과, CG전원으로 100[%]담당 시 보다는 DE전원으로 100[%]담당 시에 23[%] 감소하여 Retail Cost측면

에서 DE전원으로 설치하는 것이 유리한 것으로 계산되었다. 세부적으로는 연료비, 환경비, 송배전비용은 DE가 유리하다. 그러나 건설비와 보수유지비 측면에서는 CG전원이 더 효과적인 것으로 분석되었다. 그러나 실질적으로 DE는 해외에 의존하는 경우가 많고 설비의 고장 시 보수기간이 상당히 긴 문제점을 가지는 등 다른 외부적인 요인들을 분석하면 DE전원의 효과는 더 줄어들겠지만, 국내의 기술의 진보로 DE전원이 국산화된다면 상기의 장점을 극대화 시킬 수 있으므로 DE전원의 보급타당성은 필수불가결이라 하겠다.

추후 전력수급기본계획을 수립할 때 분산형전원의 특성을 잘 반영하고 이를 정량적으로 분석할 필요성이 있다. WADE Economic Model은 이를 잘 반영하고 있지만, 단점인 다양한 계통 운용상의 문제를 반영하기 곤란하고 알고리즘의 일부분이 DE전원에 유리하도록 설계되어 있으며 미래 전원구성비의 결정과정에 수리모형의 반영이 되어 있지 않다. 또한 Technology 별로 전원이 구분되어 있어 입력 Data의 구축이 어려우며 수요 등의 여러 가지 Data가 시작년도를 기준으로 입력하고 부하 증가율을 사용함으로 인해 매년도 상황을 정확히 반영할 수 없다. 특히 WASP과 같은 최적화 모형이 구축되어 있지 않으므로 WASP의 장점과 WADE Economic Model의 장점을 살릴 수 있는 전산모형의 개발이 필요하다.

감사의 글

이 논문(전시회)은 인천대학교 2007년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 산업자원부, “제3차 전력수급기본계획”, 2006.
2. 전력거래소 전력통계시스템, “발전소별 발전현황”, 2005.
3. 전력거래소, “발전설비현황의 자료”, 2006.
4. 산업자원부, “제2차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획”, 2003.
5. 에너지관리공단, “집단지에너지사업 관련 자료집”, 2006.
6. 환경부, “대기환경보전법”, 2006.
7. 전력거래소, “제 3차 전력수급기본계획 수립을 위한 기초 입력자료 산정”, 2006.
8. Michael Brown; Thomas R. Casten. “The WADE Economic Model : China”, WADE Publications, 2004.
9. 산업자원부, “제 1차 전력수급기본계획”, 2002.
10. 산업자원부, “제2차 전력수급기본계획”, 2004.
11. 산업자원부, “전원개발사업운영요령”, 2003.

12. 에너지관리공단 신재생에너지센터, “신재생에너지보급 사업을 위한 자금지원지침”, 2007.
13. 전력거래소 전력통계시스템, “<http://epsis.kpx.or.kr>”, 2005.
14. 한국전력공사, “長期 送變電 設備計劃”, 2005.
15. Greenpeace, “Decentralising UK energy : Cleaner, Cheaper, More Secure Energy for the 21ST century”, WADE Publications, 2006.