

원자력과 신재생에너지 발전설비 확대에 따른 온실가스 저감 잠재량에 관한 연구

전수영 · 박상원* · 송호준* · 박진원*[†]

*연세대학교 화공생명공학과

(2009년 8월 10일 접수, 2009년 11월 16일 수정, 2009년 11월 16일 채택)

Assessment of GHG Emission Reduction Potential in Extension of Nuclear and Renewable Energy Electricity Generation

Sooyoung Jun · Sangwon Park* · Ho-jun Song* · Jin-won Park*[†]

*Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University

(Received 10 August 2009, Revised 16 November 2009, Accepted 16 November 2009)

요 약

2005년 2월 교토의정서가 효력을 발휘하게 됨에 따라 우리나라는 세계 10위의 이산화탄소 배출국으로서 2013년 이후에는 감축의무를 지어야 할 실정이다. 특히 온실가스 배출량의 약 30%가 발전부문에 의한 것이므로 전환부문의 에너지 소비 저감은 매우 중요하다. 이에 정부는 온실가스 감축환경에 대응하기 위하여 “제1차 국가에너지기본계획”을 발표하여 원전설비를 2030년까지 최대 41%까지 확대하고, 신재생에너지 보급률 또한 11%로 높이겠다는 목표를 내세웠다. 이에 근거하여 원자력과 신재생에너지발전설비를 확대하였을 경우 온실가스 저감 잠재량과 그 유효성을 LEAP(Long-range Energy Alternative Planing system)을 이용하여 정량적으로 분석하였다. 분석결과 2030년 기준으로 총 CO₂ 발생 저감률은 28.8% 였다. 또한 BAU 시나리오 발전량을 토대로 하였을 때 유연탄발전 0.85 kgCO₂/kWh, LNG발전 0.51 kgCO₂/kWh의 단위 발전량당 온실가스 배출량을 보였다. 따라서 기존설비를 대체할 시, 유연탄발전을 대체할 경우에 온실가스 저감 효과가 크다는 결론을 보였다.

주요어 : LEAP, 온실가스 저감 잠재량, 원자력, 신재생에너지

Abstract— South Korea, ranks 10th largest emitter of carbon dioxide in the world, will probably be under the obligation to reduce GHG emission from 2013. It is very important to reduce the electrical energy consumption since 30% of GHG emission in South Korea is made during electricity generation. In this study, based on "the 1st national energy master plan", the GHG emission reduction potential and the feasibility of the scenario in the electricity generation have been analyzed using LEAP(Long-range Energy Alternative Planning system). The scenario of the mater plan contains the 41% expansion of nuclear power plant facilities and the 11% diffusion of renewable energy until 2030. In result, total CO₂ emission reduction rate is 28.8% in 2030. Also CO₂ emission of unit electricity generation of bituminous coal power plant is 0.85kgCO₂/kWh and its LNG power plant is 0.51kgCO₂/kWh in BAU scenario. Therefore when existing facilities is exchanged for nuclear or renewable energy power plant, substitute of bituminous power plant is more effective than LNG power.

Key words : LEAP, GHG reduction potential, Nuclear, Renewable Energy

[†]Corresponding
연세대학교 화공생명공학과
Tel : 02-2123-2763
E-mail: jwpark@yonsei.ac.kr

1. Introduction

현재 사용되고 있는 화석연료에 의한 이산화탄소 배출이 지구온난화의 주요인으로 밝혀졌으나 현실적으로 이를 완전히 제거하기는 어려운 실정이다. 1992년 리우에서 전세계 154개국이 UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change)에 서명하고 기후변화의 원인이 되는 온실가스의 감축을 위해 전 지구적으로 협력할 것에 합의했다[1].

기후변화협약은 1997년 교토의정서의 의해 구체화 되었다. 이에 따라 2001년 11월 7차 당사국 총회에서 교토의정서 이행방안이 최종 타결됨에 따라, 선진국(Annex 1 국가)들은 2008-2012년 안에 온실가스의 배출량을 1990년 수준 대비 평균 5.2%의 감축에 동의하였다. 기후변화협약이 실제로 이행됨에 따라 감축의무를 부여받은 국가들은 경제 및 산업 활동에 직접적인 영향을 미치게 됨으로써 경제문제에 발전하는 새로운 국면에 진입하게 되었다. EU 등 선진국 기업들의 온실가스 감축 자율협정 등 기후변화협약 대응 조치가 새로운 무역장벽으로 작용하여 개도국의 수출 장애요인으로 부상될 가능성이 높아지게 되었다. 우리나라를 포함한 개도국(Non-Annex 1)은 일단 의무부담에서 제외되었으나, 발리 로드맵의 채택으로 인하여 1차 의무 감축기간이 끝나는 2013년 이후에도 지속적인 감축 압박과 나아가 온실가스 감축의무를 지니게 될 가능성이 있다[2].

우리나라는 현재 세계 10위의 CO₂의 배출국이고 석유 소비는 세계 7위를 차지하고 있다. 특히, 우리나라의 온실가스 배출량은 대부분 에너지연소에 의한 것으로 총 배출량의 약 83%('05년 기준)를 차지하고 있고, 에너지 부문의 온실가스 배출은 2030년에 2004년의 약 1.5배 수준인 789.9 백만CO₂eq(Ton of CO₂ equivalent)에 이를 전망이다[3]. 에너지부문에서 온실가스 배출량이 많은 이유는 지난 수십 년 동안 정부 주도하에 이룩한 고도성장파 에너지 저가정책으로 인하여 에너지 다소비형 산업 구조를 형성하게 되었기 때문이다. 더욱이 최근의 에너지소비 증가율이 GNP 증가율을 훨씬 능가하고

있는 실정이기 때문에 기후변화협약의 법적 구속력을 받게 될 경우, 1차 에너지를 최종에너지로 전환하는 에너지 전환 업종과 철강, 석유 화학 등의 에너지 다소비 업종은 상당한 경제적 손실을 입게 될 것으로 예상된다[4]. 무엇보다 전환부문에서 발전량을 보면 에너지원 별로 원자력이 2006년 39.0%로 큰 비중을 차지하고 있고 다음으로 유연탄이 35.4%, LNG 17.9%, 석유 4.4%, 수력 1.4%, 무연탄 1.1%로 여전히 화석연료의 사용이 많은 것을 볼 수 있다[5].

이와 같은 상황으로 인하여 정부는 신고유가시대와 온실가스 감축환경에 대응하기위하여 2008년 “제 1차 국가에너지기본계획”을 발표하여 원전설비를 2030년까지 최대 41%까지 확대하고, 신재생보급률 또한 11%로 높일겠다는 목표를 내세웠다[6].

본 연구에서는 이 계획안을 바탕으로 하여 원자력 및 신재생 발전설비 확대에 따른 환경적 영향을 에너지·경제 모델인 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning system)을 이용하여 분석하고 그 유효성을 평가하여 보았다.

2. 이론적 배경

2-1. 국내 1차 에너지소비 현황

Table 1을 보면, 1차 에너지소비는 1990-2005년 동안 연평균 6.17% 증가하여, 2005년 1차 에너지 소비량이 약 228.6백만톤을 기록하였다. 전체 에너지소비 중 96.8%를 수입에 의존하며, 1998년에는 에너지소비 증가율이 외환위기로 인하여 8.1%가 감소하였으나, 1999년에는 9.3%의 증가율(세계 1위)을 기록하였으며, 2000년과 2005년에 각각 6.4%, 3.8%의 증가율을 기록하였다.

에너지원별 소비형태를 살펴보면, 2005년 기준 에너지원에서 석유가 차지하는 비중이 44.4%로 가장 높고, 그 다음으로 석탄 24.0%, 원자력 16.1%, LNG 13.3%, 수력 0.6% 순이다[5]. 이에 대한 내용을 Fig. 1에 요약하였다.

Table 1. 에너지 관련 지수 변화

구 분	1990	1995	2000	2005	연평균증가율(%)
1차 에너지소비량 (백만 TOE)	93.2	150.4	192.9	228.6	6.17
최종 에너지소비량 (백만 TOE)	75.1	122.0	149.9	170.9	5.63
1인당 에너지소비량 (TOE)	2.17	3.34	4.10	4.73	5.33
에너지/GDP (TOE/천달러)	0.33	0.36	0.38	0.36	0.58
수입의존도 (%)	87.9	96.8	97.2	96.8	0.65

2-2. 부문별 최종에너지소비 현황

부문별 최종에너지소비(Table 2)를 살펴보면, 산업부문이 전체의 약 55.2%를 차지하고 있으며 가정·상업부문 21.6%, 수송 20.8%, 공공·기타부문 2.4% 으로 에너지 소비가 이루어졌다.

산업부문의 최종에너지소비가 상대적으로 크게 증가하였는데, 이는 석유화학 및 철강산업의 설비증설, 비금속광물업의 지속적인 생산증가 그리고 조립금속업을 중심으로 한 전력 소비증가에 기인하였다. 수송부문의 에너지소비는 2000년대 초반까지는 최종에너지소비 증가를 주도하는 부문이었으나, 2002년 이후에 고유가의 영향으로 소비증가율이 크게 둔화되었다. 가정·상업부문에서는 석유로부터 전력, 도시가스, 열에너지 등 네트워크 에너지로의 연료 대체가 빠르게 진행되면서 에너지소비원별 구성이 급격한 변화를 나타내고 있는데, 이러한

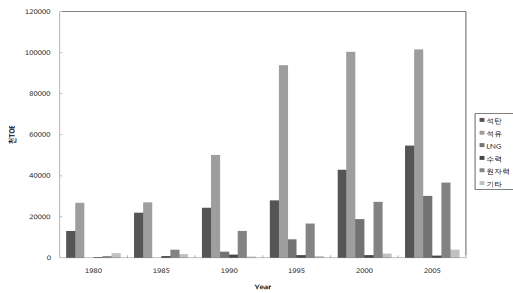


Fig. 1. 1차 에너지원별 소비량

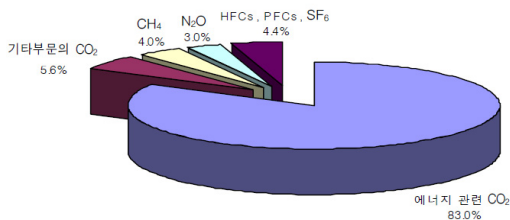


Fig. 2. 가스별 온실가스 배출비중

소비형태 변화는 정부의 도시가스 및 집단에너지 보급 활성화 정책과 환경규제 정책, 그리고 소비자들의 소득 증대, 에너지이용의 편리성 추구 경향 등에 기인하는 것으로 판단된다[5].

2-3. 2005년 온실가스 배출현황

한국의 2005년 온실가스 총 배출량은 591.1 백만 tCO₂eq.을 기록하여 2004년 대비 0.7%(3.9 백만CO₂eq.) 증가하였는데 이는 주로 에너지 소비증가에 기인한다. 배출원별 비중은 에너지 부문이 84.3%, 산업공정이 11.0%, 농업이 2.5%, 폐기물이 2.2%를 기록하였다. 온실가스별로는 에너지 관련 이산화탄소 비중이 83.0%, F-가스가 4.4% 비중을 보이고 있으며 이에 대한 현황을 Fig. 2에 나타내었다.

연료 연소에 따른 온실가스 총 배출량은 492.7백만 tCO₂eq.로서 전년대비 1.9% 증가하였다. 연료연소에 따른 온실가스 배출량 증가는 전환부문(신규 유연탄 화력발전소 증설)이 주도하고, 가정상업, 수송 및 공공기타부문 역시 증가세를 보였다. Fig. 3 또한 2005년 에너지 연소에 기인한 이산화탄소 배출량은 490.6백만 tCO₂eq.로 전년대비 1.9% 증가하였으나 온실가스 집약도(tCO₂eq./ TOE)는 2.155로 전년대비 1.8% 감소하였다[5].

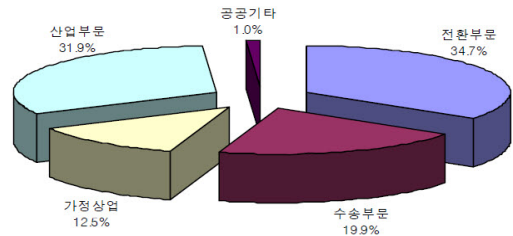


Fig. 3. 에너지 연소부문의 부문별 온실가스 배출 비중

Table 2. 부문별 최종 에너지소비량

(단위 : 천TOE)

구분	산업	수송	가정·상업	공공·기타	합계
1980	16,571	4,905	14,034	2,087	37,597
1985	20,014	6,707	18,180	2,096	46,998
1990	36,150	14,173	21,971	2,812	75,107
1995	62,946	27,148	29,451	2,416	121,962
2000	83,912	30,945	32,370	2,625	149,852
2005	94,366	35,559	36,861	4,068	170,854

3. 모델의 구축 및 시나리오 분석

3-1. LEAP 모델

본 연구에서 사용할 LEAP 모형구축은 에너지경제모형이다. 에너지경제모형의 가장 큰 장점은 에너지부문을 거시계량모형이나 응용일반균형모형처럼 하나 혹은 몇 개의 집계변수를 통해 표현하는 것이 아니라 각 최종사용부분의 에너지소비/전환과정에 포함된 기술을 세부적으로 묘사한다는 점이다. 또한 방법론적으로는 계량경제 모형에 속하며, 에너지부문과 이에 영향을 주는 요인을 몇 개의 모듈로 나누어 하나의 분석시스템으로 구축하는 '모듈팩키지(modular package) 형태를 띄고 있다. 본 연구에서 개발하는 상향모형은 UNFCCC의 Technology Information Clearing House(TT: Clear)에서 대표적인 온실가스 저감옵션 분석모형 중에 하나로 소개하고 있는 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning) 모형 구축 시스템을 기반으로 구축된다. LEAP 모형구축 시스템은 분석 대상 에너지부문을 에너지의 생산/수입, 전환, 수요 등을 묘사하는 모듈로 구축하여 에너지정책이나 기술변화의 파급효과를 분석할 수 있다[7].

LEAP 모형은 Stockholm Environmental Institute에서 개발된 모형으로 에너지수요와 공급의 양 측면에서 기술변화를 분석하여 에너지소비, 비용 및 오염배출량 변화를 평가한다. 다른 모형과는 달리 분석대상에 따라 에너지부문의 구성과 변수의 집계수준을 신축적으로 조정하여 모형을 설정할 수 있는 장점이 있으며, 이용되는 외생변수들의 변화를 시간추세 등 다양한 함수를 통해 묘사할 수 있다. 또한 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시하는 광범위한 온실가스 관련 계수DB를 포함하고 있기 때문에 Tier1¹⁾을 비롯한 다양한 온실가스 추계방법론의 적용이 가능하다[8]. LEAP 모형의 시스템은 크게 Energy scenario, Environmental data base, Aggregation, Fuel chian 4가지 모듈로 구성된다. 이들 모듈은 에너지부문을 구성하는 자연자원, 변화과정, 최종에너지, 그리고 최종에너지수요 등을 묘사할 수 있다. 이를 통해 시나리오에 따른 에너지 수요 및 변화, 환경배출에 대한 분석을 할 수 있으며, 이러한 분석은 사회적 비용과 이익에 기초한 통합에너지계획(IEP, Intergrated Energy Planning)과 온난화배출분석(Greenhouse gas mitigation)으로 이루어진다. LEAP 모

- 1) Tier 1 : 일반적으로 에너지 공급 통계, 제품생산량을 기초로 기술형태에 상관없이 배출량 산정
- Tier 2 : 탄소 물질수지와 저위발열량 등의 현장자료를 이용하여 배출량 산정
- Tier 3 : Plant(or Company) - 실측 위주 data 활용

형에서 표현되어지는 일반적인 분석과정을 Fig. 4에 나타내었다[16, 17].

3-2. LEAP 모델의 한계점

본 연구에서 사용되는 모델은 에너지 수요 및 공급 결정을 상향모형(bottom-up model)으로 하고 있다. 이 모형의 특징은 경제내의 기술적 잠재력과 에너지 공급 기술을 체계적으로 정의하여 다양한 대체기술이 비용조건과 에너지공급에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 또한 LEAP 모델은 과거의 행태를 통해서 미래의 행태를 분석하는 통계학적 모형의 분석 방법을 가지고 있는 계량경제모형(econometric model)이다. 주로 총량자료를 이용하여 에너지부문과 경제부문의 상호연관성을 분석할 때 사용한다. 그러나 단점으로는 여러 가지 기술적 대안을 동시에 고려하지 못한다는 것과 과거의 자료를 이용하기 때문에 경제주체의 행태가 불안정한 경우에는 적절한 결과를 제시하지 못한다[18].

LEAP 모델은 구축하는 자의 기여도에 따라 그 세밀함이 달라지게 된다. 또한 구축 방법이 한가지 형식으로 정해져 있지 않기 때문에 작성자의 가정에 따라 달라질 수 있기 때문에 실측치와 정확하게 일치할 수는 없다. 또한 과거의 자료를 이용하여 미래를 전망하는 시뮬레이션이기 때문에 시나리오별 기술적 대안에 따라 그 파급효과에 대한 경향 분석을 위한 모델이라는 점에서 한계가 있다.

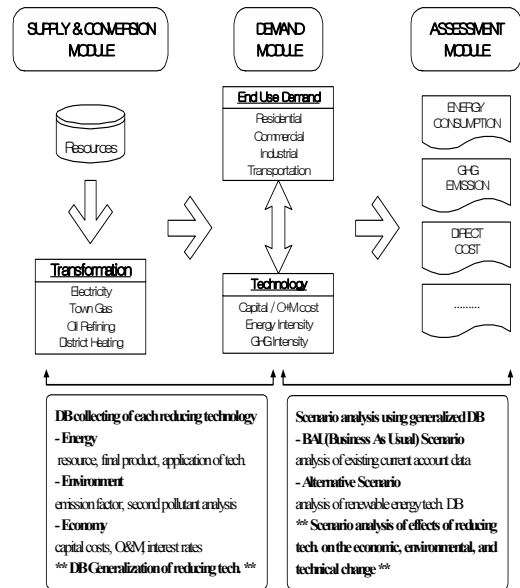


Fig. 4. LEAP 모델의 구조와 분석 과정

3-3. LEAP-ROK2007 구축

본 연구에서 사용하는 LEAP ROK2007은 2007년을 기준으로 구축되었으며 2010년 -2030년 기간을 대상으로 발전부문 설비대체에 따른 영향을 분석하였다.

ROK2007은 우리나라의 에너지부문을 가정, 산업, 수송, 가정 및 공공부문을 포함하는 에너지수요와 발전, 지역난방, 도시가스 생산 등을 포함하는 전환부문을 구분하여 묘사하였다. 각 에너지는 전환부문을 거치거나 직접적으로 최종소비부문에 전달되며, 이때 각 과정에서의 연료소비량은 세부 기술들의 기술적 특성에 따라 결정된다. 또한 에너지부문의 변화는 TED(Technology and environmental database)를 통해 환경부문의 변화와 연결된다. 이번 ROK2007을 구축하여 사용한 LEAP 프로그램을 아래 Fig. 5에 나타내었다.

에너지경제모형을 사용하기 위해서는 현재의 전력공급체계를 유사하게 구축해야한다. 사실성 있는 모형의 구축을 위하여 산업자원부에서 발표한 2008년 “제4차 전력수급계획”과 한국전력공사에서 발표한 2008년 “2008년도판(2007년 실적) 한국전력통계를 근거로 하여 발전설비별 용량, 설비효율, 설비수명, 전력공급비율, 연도별 설비증감, 전력수요예측량을 토대로 하였다. 또한 설비별 발전량을 예측하기 위하여 전력공급 시스템을 에너지경제모형의 Merit Order기능을 이용하여 구현하였고 본 연구에서는 석탄, 원자력, 신재생 발전설비의 Merit Order를 1로 입력하였다. Merit Order를 1로 두면 수요량에 따른 전력생산이 우선적으로 이루어지게 된다. 이러한 기능을 통

하여 전력생산량을 산출 할 수 있고, 이를 토대로 설비별 온실가스 배출량을 예측 할 수 있다.

3-4. LEAP 모델을 통한 시나리오 분석 방법 체계도

본 연구에서 시나리오에 따른 발전량 및 온실가스 배출량을 예측하기 위한 실험방법을 아래 Fig. 6에 나타내었다. 우선 LEAP모형 ROK2007을 구축하기 위하여 기존 년도를 2007로 하여 각 부문별 에너지수요 및 전환부문의 data base를 작성하였고 정부에서 발표한 기존의 여러 통계를 이용하여 2010년-2030년까지 BAU 시나리오를 작성하였다. 또한 BAU시나리오에 “제1차 국가에너지기본계획”의 목표에 도입하여 대안 시나리오 I-V를 작성하였고 이를 통하여 발전량 및 온실가스 배출량을 정량적으로 예측하여 결과를 얻을 수 있는 체계를 갖추었다.

3-5. 시나리오 분석을 위한 기본가정

본 연구는 2005년을 기준으로 하여 2010년부터 2030년까지 전환부문의 발전량과 온실가스 배출량을 예측하였다. 우리나라 발전설비별 발전용량, 발전량 및 전력수요량은 2008년 12월 지식경제부에서 발표한 “제4차 전력 수급기본계획”에 따라 2022년까지 산정하였고 2023년부터 2030년 까지는 2020년 이후로 동일하다고 가정하였다. 또한 각 발전시스템의 기본 특성은 한국전력공사에서 발표한 2008년도판(2007년실적) 한국전력통계의 설비별 기술특성 자료를 사용하여 2030년까지 기술특성이 동일하다고 가정하였다.

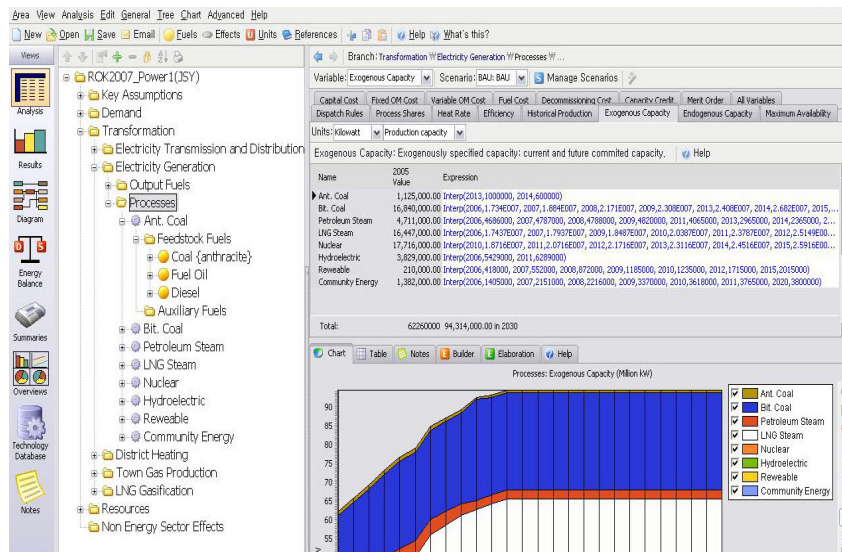


Fig. 5. LEAP ROK2007 프로그램에서의 발전부문 모형 구축

LEAP에서의 총 발전량은 수요모듈의 전력수요량에 따라 변하기 때문에 수요모듈과 실제 전력수요와의 차이로 인하여 LEAP 구조상의 발전량은 실제 발전량보다 작을 수 있다. 발전설비 중 유연탄·원자력·신재생발전설비에서 생산된 전력은 가장 우선적으로 사용(기저부하)한다고 가정하였다. 또한 LEAP에서 이용한 온실가스 배출량 산출방법은 모델내부에서 개정된 IPCC 1996 가이드라인의 Tier 1 방법론에서의 배출계수를 포함하고 있어 자동적으로 계산되므로 온실가스 배출량을 일관된 방법론으로 산정한다.

3-6. BAU(Business As Usual) 시나리오 구축

BAU 시나리오는 한국의 기존 전력발전에 대한 시나리오이다. BAU 시나리오는 2007년 데이터를 기준으로 2030년까지의 전망 데이터로 구성되어 있다. BAU 시나

리오의 전력 발생량은 에너지수요, 경제 및 사회의 동향에 따라 변화된다. 이에 따라 BAU 시나리오 구축을 위해 필요한 Data의 기본적인 전망치는 정부기관의 통계로부터 설정되어지며 Table 3은 정부와 주요 전문기관에서 발표한 사회경제적 지표와 부문별 에너지수요 값에 대한 전망치를 나타내었다.

BAU 시나리오의 기존 발전설비전망은 제4차 전력 전력수급기본계획에 따라 구축하였다.

3-7. 대안시나리오(Alternative Scenario) 구축

대안시나리오는 기존 발전설비 중 유연탄과 LNG 발전설비에서 화석연료를 사용하지 않은 원자력과 신재생에너지 발전설비로 대체되는 것으로 가정하였다.

원전설비의 연료가 되는 우라늄이 비교적 고르게 매장되어있고, 연료소요가 소량으로 수송 및 비축이 용이하

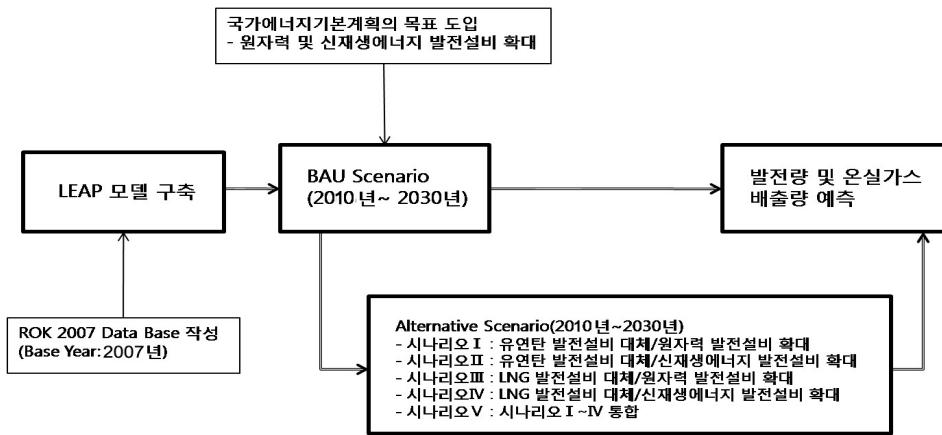


Fig. 6. 실험 방법 체계도

Table 3. 주요 에너지소비 분야 및 사회경제적 지표

	Unit	2005	2010	2020	2030
GDP	2000Twon	640.3	909.8	1346.7	1899.7
Population	Million	48.3	48.9	49.3	48.6
TPE ²⁾	MTOE	222.3	266.5	338.7	394.1
TFE ³⁾	MTOE	171.6	205.0	256.2	290.2
Industrial	MTOE	99.6	117.5	146.5	162.3
Transport	MTOE	34.3	44.0	53.2	55.9
Residential	MTOE	26.8	29.1	32.7	34.2
Commercial	MTOE	10.5	14.0	23.1	36.8
Public/other	MTOE	0.4	0.5	0.7	1.0

2) TPE : Total Primary Energy (총 1차에너지)

3) TFE : Total final Energy (총 최종에너지)

며, 비상시 가격급등, 수급불안 요인이 적어 에너지 안보 측면에서 유리할 뿐만 아니라 발전원가가 저렴하여 매우 경제적인 에너지로서 설비 비중을 2008년 26%에서 2030년 41%으로 증가시키려는 계획을 가지고 있다[6]. 또한 신재생에너지는 경제성만 확보가 된다면 투자대비 보급률을 높일 수 있고 에너지 자립을 위한 대안으로 신재생에너지 보급 확대 필요성이 대두되면서 신재생에너지 보급률을 11%까지 증가시키겠다는 목표를 내세웠다. 우리나라 경우 현재 신재생에너지 보급 중 많은 부분이 전환부문이므로 11%를 발전설비 증가라고 가정하였다. 따라서 2008년 2.5%의 신재생에너지발전설비를 11%까지 대체되는 것으로 고려하였다.

대안시나리오 I-II는 유연탄 발전을 원자력발전과 신재생에너지발전설비로 대체하는 것으로 가정하였고 대안시나리오 III-IV는 LNG발전을 원자력발전과 신재생에너지발전설비로 대체하는 것으로 가정하였다. 또한 대안시나리오 V는 대안시나리오 I-IV를 통합한 시나리오로 유연탄 발전과 LNG발전을 원자력과 신재생에너지발전설비로 동시에 대체하는 것 가정하였다. 대표년도 별로 대체되는 원자력과 신재생에너지발전설비용량을 Table 4에 나타내었다. 발전설비 전망은 제4차 전력수급계획과 제1차 국가에너지기본계획안에 근거하여 산출하였다.

4. 결과 및 분석

Table 4. 대체되는 원자력과 신재생에너지 발전설비용량

(단위: MW)

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
원자력	17,716 (26%)	17,716 (24%)	24,516 (27%)	31,516 (31%)	36,320 (36%)	41,365 (41%)
신재생	1,673 (2.5%)	2,093 (2.9%)	3,063 (3.3%)	4,060 (4.0%)	7,062 (7.5%)	11,098 (11%)
총 발전설비 ¹⁾	67,365	72,793	91,847	100,191	100,891	100,891

1) 총 발전 설비는 유연탄, 무연탄, 석유, LNG, 원자력, 수력, 신재생, 집단에너지 발전설비의 합

Table 5. BAU 시나리오의 주요 분야의 에너지소비 분야 결과

	Unit	2010	2015	2020	2025	2030
TPE	MTOE	242.1	280.3	321.2	354.1	381.1
TFE	MTOE	203.3	233.6	264.7	291.1	316.2
Industrial	MTOE	111.7	129.5	149.2	163.8	177.6
Transport	MTOE	50.3	56.7	60.9	64.6	66.1
Residential	MTOE	26	27.8	29.2	30.2	30.8
Commercial	MTOE	15.3	19.7	25.3	32.5	41.8

4-1. BAU 시나리오 결과분석

구축한 ROK2007에서 주요 에너지소비 분야의 결과 값을 Table 5에 나타내었다. 그 결과들을 보면 산업부문에서 가장 많이 에너지를 소비하고 있으며 우리나라의 에너지소비가 2030년까지 계속 증가하는 추세임을 알 수 있다. 이는 우리나라의 산업구조가 에너지다소비형이고 이뿐만이 아니라 우리나라의 에너지수요 또한 아직 화석연료에 많이 의존하고 있으므로 이를 줄이기 위해 대체에너지 및 신재생에너지 보급의 필요성이 점점 커지고 있다. 이는 기후변화협약에 대비하여 온실가스 배출을 줄일 수 있는 중요한 시사점이 된다.

그리고 결과 값의 타당성을 보기 위해 Table 3과 비교해 볼 수 있다. Table 3은 정부에서 발표한 예측치를 나타낸 것으로 각 부분별로 그 추이를 비교하여 보면 그 수치가 많이 근사함을 알 수 있다. 최종에너지(TFE, Total Final Energy)를 기준으로 하여 평균 4.37%의 오차율을 보였다. 이를 통해 앞으로 시나리오 별 결과 분석에서 어느 정도 타당성이 있음을 보여준다.

BAU 시나리오에서 발전설비별 전력 발생량 전망에 대한 결과 값을 table 6에 나타내 있는데 총 발전량을 보면 2010년 기준으로 2030년까지 약 41.7% 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 전력의 수요 증가와 이에 따른 발전설비 증축에 기인하는 것으로 보인다. 특히 원자력과 신재생에너지 및 집단에너지의 발전량이 눈에 띄게 증가함을 알 수 있다. 즉, 2010년 대비 2030년까지 원자력

124.5%, 신재생에너지 134%, 집단에너지 127%로 각각 설비의 발전량이 증가하였다. 이와 달리 무연탄 발전과 석유발전은 2010년 대비 2030년까지 각각 2,805 GWh, 11,579GWh을 기록하며 55.0%, 24.0% 씩 감소하였다. 이는 CO₂ 발생량 감소와 고유가시대에 대응하여 무연탄과 석유를 이용한 발전설비를 줄여나가려는 실정이라는 것을 알 수 있다. 또한 2030년에 약 650,456 GWh의 전력이 생산되었으며 기본 발전 부하인 석탄과 LNG 및 원자력 발전소가 전체 발전량의 약 92.8%를 공급하였다.

4.2. 대안 시나리오 결과분석

BAU 시나리오에서 구축한 기존 발전설비를 Table 4에서 나타난 용량만큼의 원자력 과 신재생에너지 발전설비로 대체하였을 경우 그에 따른 발전설비별 전력 발생량과 BAU 시나리오와 비교한 온실가스 배출 잠재량을 분석하였다.

우선 대안 시나리오에 따른 발전설비별 전력 발생량 변화를 Table 7에 요약하였다. 본 연구에서는 원자력, 유연탄, LNG, 신재생에너지 발전설비간의 용량 대체로 다루어졌기 때문에 무연탄, 석유, 수력, 집단에너지 발전의 발전량은 Table 6과 같다. 또한 이러한 이유로 총 발전량 또한 시나리오별로 동일함을 볼 수 있다.

대안 시나리오 I는 유연탄 발전을 원자력 발전설비로 대체하여 확대하였다고 가정된 것으로 BAU 시나리오의 유연탄과 원자력 발전설비의 발전량과 비교해 2030년을 기준으로 유연탄의 발전량은 293,007 GWh로 29.3% 감소하였으나, 원자력의 발전량은 59,850 GWh 증가하여 감소된 전력 발생량을 충족함을 볼 수 있다.

대안 시나리오 II는 유연탄 발전을 신재생에너지 발전

설비로 대체하여 확대하였다고 가정된 것으로 BAU 시나리오의 유연탄과 신재생에너지 발전설비의 발전량과 비교해 2030년을 기준으로 유연탄의 발전량의 154,291 GWh로 24.4% 감소하였으나, 신재생에너지의 발전량은 50,033 GWh 증가하여 감소된 전력 발생량을 충족함을 볼 수 있다.

대안 시나리오 III는 LNG 발전을 원자력 발전설비로 대체하여 확대하였다고 가정된 것으로 BAU 시나리오의 LNG와 원자력 발전설비의 발전량과 비교해 2030년을 기준으로 LNG의 발전량은 103,508 GWh로 36.6% 감소하였으나, 원자력 발전량은 59,850 GWh 증가하여 감소된 전력 발생량을 충족함을 볼 수 있다.

대안 시나리오 IV는 LNG 발전을 신재생에너지 발전설비로 대체하여 확대하였다고 가정된 것으로 BAU 시나리오의 LNG와 신재생에너지 발전설비의 발전량과 비교해 2030년을 기준으로 LNG의 발전량의 113,504 GWh로 30.5% 감소하였으나, 신재생에너지의 발전량은 50,033 GWh 증가하여 감소된 전력 발생량을 충족함을 볼 수 있다.

대안 시나리오 V는 유연탄 발전과 LNG 발전을 원자력과 신재생에너지 발전설비로 대체하여 확대하였다고 가정된 것으로 BAU 시나리오의 유연탄, LNG 발전 과 원자력, 신재생에너지 발전설비의 발전량과 비교해 2030년 기준으로 유연탄 발전은 141,789 GWh로 30.5% 감소, LNG 발전은 116,009 GWh로 29.0% 감소하였으나, 원자력 발전량은 59,850 GWh 증가, 신재생에너지의 발전량은 50,033 GWh 증가하여 감소된 전력 발생량을 충족함을 볼 수 있다.

BAU 시나리오 기반으로 위에서 언급한 가정을 토대

Table 6. BAU 시나리오의 발전설비별 전력 발생량

(단위 : GWh)

	2010	2015	2020	2025	2030
Nuclear	103,851	133,261	185,016	215,068	233,157
Bit. Coal ¹⁾	135,294	156,657	169,189	188,036	204,144
Ant. Coal ²⁾	4,354	2,153	2,325	2,588	2,805
LNG	104,507	125,358	135,386	150,684	163,357
Oil	14,588	10,783	11,646	10,847	11,759
Hydro. ³⁾	3,920	4,381	4,731	5,266	5,709
Renewable	12,269	16,650	23,834	26,527	28,759
CommunityEnergy	332	516	626	697	755
Total	379,151	449,758	532,753	599,983	650,456

1) Bit. Coal : Bituminous Coal (유연탄)

2) Ant. Coal : Anthracitic Coal (무연탄)

3) Hydro. : Hydroelectric (수력)

Table 7. 대안 시나리오의 발전설비별 전력 발생량

(단위 : GWh)

	2010	2015	2020	2025	2030
Alternative Scenario I					
Nuclear	103,851	133,261	185,016	237,314	293,007
Bit. Coal	135,294	156,657	169,189	166,059	144,294
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Renewable, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	379,151	449,758	532,753	599,983	650,456
Alternative Scenario II					
Bit. Coal	135,294	156,657	166,707	168,689	154,291
Renewable	12,269	16,650	23,997	46,145	78,612
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Nuclear, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	379,151	449,758	532,753	599,983	650,456
Alternative Scenario III					
Nuclear	103,851	133,261	185,016	237,314	293,007
LNG	104,507	125,358	135,386	128,437	103,508
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Renewable, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	379,151	449,758	532,753	599,983	650,456
Alternative Scenario IV					
LNG	104,507	125,358	135,386	131,067	113,504
Renewable	12,269	16,650	23,834	46,145	78,612
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Nuclear, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	379,151	449,758	532,753	599,983	650,456
Alternative Scenario V					
Nuclear	103,851	133,261	185,016	237,314	293,007
Bit. Coal	135,294	156,657	169,189	163,419	141,789
LNG	104,507	125,358	135,386	133,707	116,009
Renewable	12,269	16,650	23,997	46,145	78,612
Ant. Coal, Oil, Hydro., Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	379,151	449,758	532,753	599,983	650,456

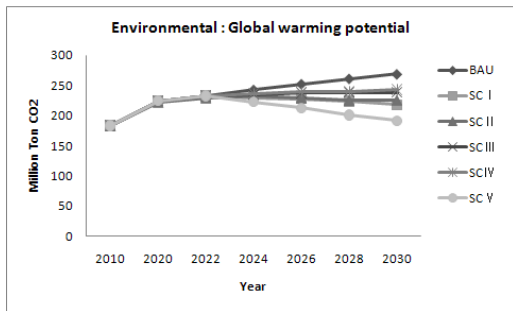


Fig. 7. 시나리오별 온실가스 배출 잠재량

로 발전설비 변화에 따른 발전부문의 온실가스 배출 잠

재량 변화를 Fig 7에 나타내었고 각 시나리오별 발전설비에서의 온실가스 배출 잠재량 추이를 Table 8에 요약하였다.

2030년 기준으로 BAU 시나리오의 온실가스 배출 잠재량은 268,982 천tCO₂eq.이고 대안시나리오 I-V의 온실가스 배출 잠재량은 각각 217,917 천tCO₂eq., 226,446 천tCO₂eq., 238,323 천tCO₂eq., 243,444 천tCO₂eq., 191,524 천tCO₂eq.으로 BAU 시나리오 대비 대안 시나리오 V에서 온실가스 배출량이 가장 적게 나온 것을 알 수 있다.

Table 8에서 보면 발전설비별 온실가스 배출량 추이를 나타내었다. BAU 시나리오에서는 각 설비별 온실가스 배출량을 볼 수 있으나 대안 시나리오 I-V에서는 결과

Table 8. 시나리오별 발전설비에서의 온실가스 배출 잠재량 추이(단위 : 천tCO₂eq.)

	2010	2015	2020	2025	2030
BAU Scenario					
Bit. Coal	115,437	133,664	144,356	160,667	174,181
Ant. Coal	3,937	1,947	2,103	2,340	2,537
LNG	53,536	64,217	69,354	77,191	83,683
Oil	10,207	7,545	8,149	7,590	8,228
Community Energy	155	241	293	326	353
Nuclear	0	0	0	0	0
Renewable	0	0	0	0	0
Total	183,272	207,613	224,254	248,114	268,982
Alternative Scenario I					
Nuclear	0	0	0	0	0
Bit. Coal	115,437	133,664	144,356	141,686	123,115
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Renewable, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	183,272	207,613	224,254	229,133	217,91 ¹⁾ (19.0%)
Alternative Scenario II					
Bit. Coal	115,437	133,664	144,356	143,930	131,645
Renewable	0	0	0	0	0
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Nuclear, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	183,272	207,613	224,254	231,376	226,446(15.8%)
Alternative Scenario III					
Nuclear	0	0	0	0	0
LNG	53,536	64,217	69,354	65,795	53,024
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Renewable, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	183,272	207,613	224,254	236,718	238,323(11.4%)
Alternative Scenario IV					
LNG	53,536	64,217	69,354	67,142	58,145
Renewable	0	0	0	0	0
Ant. Coal, LNG, Oil, Hydro., Nuclear, Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	183,272	207,613	224,254	238,064	243,444(9.5%)
Alternative Scenario V					
Nuclear	0	0	0	0	0
Bit. Coal	115,437	133,664	144,356	139,434	120,978
LNG	53,536	64,217	69,354	68,494	59,428
Renewable	0	0	0	0	0
Ant. Coal, Oil, Hydro., Community Energy 발전량 BAU와 동일					
Total	183,272	207,613	224,254	218,183	191,524(28.8%)

1) BAU 시나리오 대비 온실가스 발생 감소율

값이 변화한 설비만을 나타내었다. 이 이유는 Table 3에
처럼 발전설비 변화에 따라 온실가스 배출량이 산정되므

로 기존 다른 설비들은 시나리오 마다 같은 결과 값을
나타나게 된다. 각 시나리오별 원자력과 신재생에너지 발

전설비에서의 온실가스 배출은 없는 것을 볼 수 있다.

대안 시나리오 I 은 2030년 기준으로 BAU 시나리오와 대비하여 유연탄 발전에서 발생한 온실가스 발생량이 51,006 천tCO₂eq.만큼 감소하여 29.3%의 저감 잠재율이 예측되어진다.

대안 시나리오 II은 2030년 기준으로 BAU 시나리오와 대비하여 유연탄 발전에서 발생한 온실가스 발생량이 42,536 천tCO₂eq.만큼 감소하여 24.4%의 저감 잠재율이 예측되어진다.

대안 시나리오 III은 2030년 기준으로 BAU 시나리오와 대비하여 LNG 발전에서 발생한 온실가스 발생량이 30,659 천tCO₂eq.만큼 감소하여 36.6%의 저감 잠재율이 예측되어진다.

대안 시나리오 IV은 2030년 기준으로 BAU 시나리오와 대비하여 LNG 발전에서 발생한 온실가스 발생량이 25,538 천tCO₂eq.만큼 감소하여 30.5%의 저감 잠재율이 예측되어진다.

대안 시나리오 V은 2030년 기준으로 BAU 시나리오와 대비하여 유연탄과 LNG 발전에서 발생한 온실가스 발생량이 각각 53,203 천tCO₂eq., 24,255 천tCO₂eq.만큼 감소하여 30.5%, 29.0%의 저감 잠재율이 예측되어진다.

5. 결 론

본 연구에서는 신고유가시대와 온실가스 감축환경에 대응하기 위한 국가에너지기본계획에 따라 그 예측치를 보고자 기존설비 대비 2010년 이후로 2030년까지 원자력발전설비와 신재생발전설비를 확대하였을 경우 설비별 발전량의 변화와 온실가스 배출량 변화를 LEAP 모델을 이용하여 정량적으로 분석하였다.

시나리오별 총 발전량에는 변화가 없었는데 그 이유는 기존 발전시설(유연탄과 LNG발전)을 원자력과 신재생에너지 발전시설로 대체하는 것이기 때문이다. 그러나 시나리오별 온실가스 배출량에서 큰 변화를 보였다. 2030년을 기준으로 BAU 시나리오와 대비 각 대안시나리오별(I-V) 온실가스 발생 감소율은 19.0%, 15.8%, 11.4%, 9.5%, 28.8%로 예측되었다. 특히 원자력발전설비의 확대에 따른 기존설비(유연탄과 LNG발전)의 대체 시, 기존설비를 2030년까지 보급할 경우(BAU) 보다 온실가스 저감량에서 눈에 띄는 차이가 있음을 볼 수 있었다. 그리고 대안시나리오V와 같이 원자력과 신재생발전설비를 동시에 확대하였을 경우 온실가스 배출량이 현저히 작아짐을 보였다.

또한 BAU 시나리오의 설비별 발전량을 토대로 유연

탄과 LNG발전의 단위 발전량당 온실가스 배출량을 구할 수 있는데 2030년 기준으로 그 값은 각각 0.85 kgCO₂/kWh, 0.51 kgCO₂/kWh로 원자력이나 신재생에너지 발전설비 확대에 따라 기존설비를 대체 할 시 유연탄발전을 대체할 경우 온실가스 저감효과가 크다는 결론을 내릴 수 있다.

위의 결과에서도 알 수 있듯이 국가에너지기본계획의 원전설비의 확대가 타당성이 있음을 확인 할 수 있었고, 온실가스 감축에 큰 기여를 할 것이라고 예상되어진다. 또한, 현재 우리나라에서는 신재생에너지 보급률이 다른 나라에 비하여 많이 부족한 상황이다. 지형여건과 경제성에서 아직 많은 연구가 진행 되어져야 하지만 온실가스 감축을 감안한다면 앞으로 환경정책에 변화를 줄 때 좋은 대안으로 이용 될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 LEAP 모델의 특성상 과거 행태를 분석하여 미래를 전망한 결과 값이기 때문에 정확한 결과 값에 의미를 두기보단 각 시나리오별 가정대로 기술들을 대체하였을 경우, 그 영향에 대한 분석이라는 의미로 접근하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 환경부. 기후변화 원인물질저감기술의 평가시스템개발, 2004
2. 국무조정실. 기후변화협약 대응 제2차종합대책 세부추진계획, 2002
3. 에너지관리공단. 알아들으시다! 에너지와 기후변화, 2007
4. 실물경제. 제3차 기후변화협약 총회 이후, 1997, 47, 115
5. 에너지경제연구원. 기후변화협약에 의거한 제3차 대한민국의 국가보고서 작성 연구, 2007
6. 에너지경제연구원. 제1차 국가 에너지기본계획, 2008
7. Ho-Chul Shin; Jin-Won park; Ho-Seok Kim; Eui-Soon Shin. Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model, Energy Policy, 2005, 33, 1261-1270
8. Ho-Jun Song; Seungmoon Lee; Sanjeev Maken; Se-Woong Ahn; Jin-Won Park; Byoungryul Min; Wongun Koh. Environmental and economic assessment of the chemical absorption process in Korea using the LEAP model, Energy Policy, 2007, 35, 5109-5116
9. Seungmoon Lee; Jin-Won Park; Ho-Jun Song; Sanjeev Makena; Tom Filburn. Implication of CO2 capture technologies options in electricity generation in Korea, Energy Policy, 2008, 36, 326-334
10. 최성인. 화력발전설비에 도입된 화학흡수공정의 CDM 방법론 개발, 연세대학원, 2006
11. 지식경제부, 제4차 전력수급기본계획(2008-2022년), 2008
12. 에너지관리공단, 2007년 신재생에너지통계, 2008
13. 한국전력공사, 한국전력통계(2007년도 실적), 2008
14. 산업자원부, 에너지총조사보고서, 2005
15. 에너지경제연구원, 에너지통계연보, 2007

16. 채윤근, LEAP model을 이용한 풍력발전의 환경적·경제적 평가에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문, 2004
17. SEI(Stockholm Environment Institute), LEAP User Guide(Download the latest version of LEAP from : <http://forums.seib.org/leap>), 2006
18. 에너지경제연구원, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제3차년도), 2006