

연료전지를 이용한 발전기술의 에너지-환경 파급효과¹⁾

김 호석²⁾, 김 정인³⁾, 추 민정⁴⁾

An Assessment of Energy and Environmental Impacts of Fuel Cell Generation

Hoseok Kim, Jeongin Kim, Minjeong Choo

Key words : MCFC, 수소에너지, 신재생에너지, 에너지모형, 에너지기술, 대기오염, 온실가스, LEAP모형.

Abstract : 현재 국내 수소 관련 연구는 생산, 운반, 저장 등 공급과정의 기술과 발전, 수송 등 이용기술을 중심으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 현재 개발 중인 MCFC 발전설비에 대한 기술 및 비용 특성을 이용하여 LEAP모형시스템 기반의 ROK2003-H2 모형을 구축하고 정부의 '제2차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획(2003~2012)'의 계획에 따른 수소에너지(연료전지) 보급의 에너지/환경부문 파급효과를 분석한다. 분석 대상이 되는 기술은 Molten Carbonate 연료전지를 이용한 2MW급 발전기술로, 2008년 70MW가 설치되기 시작하여 2011년까지 매년 100MW 증설되어 2011년 전체 설비가 370MW에 이르는 것으로 시나리오를 구축한다. 설비의 에너지효율성은 연료전지 발전설비가 처음 도입된 2008년에는 45%로 가정하고 2009년~2011년 간에 5%씩 상승되어 2011년에는 60%에 이를 것으로 전망한다. 분석결과에 의하면 2011년에 연료전지의 발전설비를 370MW로 확대하는 경우에 CO를 비롯한 대부분의 대기오염배출량이 감소하며, 온실가스 배출량 역시 35,433백만t로 약 295백만t가 감소한다.

1. 서 론

우리나라 에너지정책의 기본 방향은 국민경제의 발전에 필요한 에너지의 안정적 공급과 에너지이용 과정에서 발생하는 환경적, 안보적 외부성을 최소화하는 에너지수급 구조를 마련하는 것이다. 정부는 이러한 정책목표를 달성하기 위해서 각 시기의 사회경제적 환경에 부합하는 국가에너지 기본계획을 5년마다 수립하고 있다. 지난 2002년에 수립된 제2차 국가에너지 기본계획은 에너지시스템의 효율성 향상, 지속가능한 에너지시스템 구축, 에너지안보의 강화를 기본 방향으로 선정하고 이를 위해 에너지산업의 경쟁 촉진, 에너지기술의 지속적인 개발, 국제 에너지협력의 확대 등을 세부 정책목표로 추진하고 있다.

특히 에너지부문의 대외 의존도와 수입비용 부담을 개선하고 온실가스를 포함한 대기오염의 배출을 저감하기 위해서 대체에너지 기술을 중점적으로 개발할 계획을 수립하였다. 2003년에 발표된 '제2차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획'은 2011년 TPES의 5%를 신재생에너지로 공급하는 것을 목표로 하고 있다.

Table 1 제2차 신재생에너지 기본계획 공급목표

보급 목표	↔	1.4%	↔	3%	↔	5%
분 야		2002		2006		2011
배 기 률		93.5		71.3		57.3
소 수 력		1.0		17.1		12.3
풍 력		0.1		2.2		9.7
바 이 오		4.0		7.1		7.8
태 양 광		0.2		0.6		2.5
태 양 열		1.2		1.5		2.4
연료전지		-		0.05		1.5
지 열 등		-		0.1		6.5

우리나라는 이미 1988년~2002년 동안 신재생에너지 기술개발을 위해 2,482억원을 투자하였으므로 이를 통해 2002년 TPES의 약 1.4%인 2,922천toe를 공급하였다. 특히 연료전지 관련

1) 본 연구는 수소에너지사업단의 지원을 받았다.

2) 연세대학교 동서문재연구원.

Email: hoskim@yonsei.ac.kr

Tel:(02) 2123-2462 Fax: (02) 393-9027

3) 중앙대학교 산업경제학과.

4) 건양대학교 금융국제학과.

기술개발 투자가 707억원으로 전체 투자의 28.5%를 차지한다. 수소에너지는 고갈되지 않으며 오염배출이 없다는 측면에서 향후 화석연료를 대체할 새로운 에너지로 전세계적으로 다양한 이용 기술이 개발되고 있다.

정부의 신재생에너지 기본계획은 연료전지 및 수소에너지를 태양광과 풍력과 더불어 집중 지원할 계획을 제시하고 있다. 2002년 신재생에너지 보급실적은 일차에너지의 1.4% (2,922천toe)인데, 이를 2006년과 2011년에 각각 3%(7,127천toe), 5%(8,079천toe)로 확대할 계획이며, 이중 연료전지 공급목표를 2006년 0.05%(4백toe), 2011년 1.5%(147천toe)로 잡고 있다. 주요 기술개발 목표는 수소 제조-저장-이용분야의 상용화 및 발전용, 가정용, 건물용, 자동차용, 이동용 연료전지의 개발이며, 2012년까지 가정용 1만기(370MW), 건물용 1천기, 발전사업용 300기의 연료전지 보급을 목표로 하고 있다. 특히 발전부문에서의 신재생에너지 보급목표는 전체 일차에너지에서의 비중보다 큰 7%를 공급목표로 설정하였다. 2011년 총 발전량은 362,922GWh로 전망되며 신재생에너지를 이용한 발전량은 25,354GWh 수준이 되도록 목표를 설정하였다. 이 중에서 연료전지를 이용한 발전은 2011년 총 370MW의 설비 보급을 목표로 하고 있다. 본 연구는 정부의 계획에 따라 연료전지를 이용한 발전설비가 공급되는 경우에 에너지수급 및 대기오염 배출 변화를 상향모형을 구축하여 분석하였다.

2. 연료전지 발전기술과 평가모형

2.1 연료전지를 이용한 발전기술

본 연구는 용융탄산염형 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)를 이용한 발전을 분석대상으로 한다. 용융탄산염형 연료전지는 대형 발전소나 건물에 적합한 연료전지 기술로 2000년도에 25kW급 시스템의 실험을 완료하였으며 2001년부터 100kW급 시스템을 개발 중이다. 2006년까지 250kW급을 모듈화하여 MW급 시스템을 개발할 수 있는 기술을 개발할 전망이다. 미국은 1999년에 이미 2MW급 발전시스템을 개발하여 실용화 단계에 이르렀다. 국내 기술은 선진국과 약 10년 정도의 기술격차가 있는 것으로 알려져 있으며, 2008년 MW급 건설이 가능할 것으로 예상된다.⁵⁾

본 연구에서는 정부의 '제2차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획(2003-2012)'의 계획에 따른 수소에너지(연료전지) 보급의 에너지 및 환경부문 파급효과를 분석한다. 분석 대상이 되는 수소에너지 기술은 2MW급 MCFC 발전기술로, 2008년 70MW가 설치되기 시작하여 2011년까지 매년 100MW 증설되어 2011년 전체 설비가 370MW에 이르는 것으로 시나리오를 구축하였다. 2MW MCFC 발전설비는 천연가스를 원료로 사용하며 연료효율성은 51.39% 정도인 것으로 보고되고 있다.⁶⁾ 설비의 에너지효율성은 연료전지 발전설비가 처음 도입된 2008년에는 45%로 가정하고 2009년~2011년 간에 기술진보를 통해 5%씩 상승되어 2011년에는 60%에 이를 것으로 전망하였다.

Table 2 연료전지의 특성 비교 (MOEA, 2003)

Type of fuel cell	Efficiency	Operating temperature
Polymer Electrolyte Membrane (PEMFC), sometimes called Proton Exchange Membrane	40% (80% with cogeneration*)	175° F
Direct Methanol (DMFC)	40%	120 - 150° F
Alkali (AFC)	60% (80% with cogeneration*)	250 - 500° F
Phosphoric Acid (PAFC)	40% (80% with cogeneration*)	300 - 400° F
Solid Oxide (SOFC)	55% (85% with cogeneration*)	1,800° F
Molten Carbonate (MCFC)	55% (85% with cogeneration*)	1,200° F

2.2 에너지기술평가모형

에너지정책과 에너지기술의 파급효과 분석을 위한 모형을 구축하는 방법론은 다양하다. 에너지모형은 에너지부문에 가해지는 외생충격이 에너지부문의 구조에 미치는 효과를 분석하기 위해 1, 2차 석유위기 이후 전세계적으로 개발되기 시작했다. 에너지모형은 분석 목적에 특화되어 개발되기 때문에 분석의 대상이 되는 이슈와 경제 및 에너지부문의 구조에 따라 다양한 기법을 이용하여 구축된다. 에너지모형은 크게 거시계량모형(macroeconometric models), 응용일반균형모형(applied general equilibrium models), 에너지경제모형(energy-economy models)으로 구분된다. 각 모형은 분석의 목적, 이용 가능한 자료, 분석의 범위 등에 따라 서로 다른 장단점을 갖기 때문에 효과적인 모형분석을 위해서는 분석에 적합한 모형의 선택이 중요하다. 모형의 방법론은 분석의 목적, 분석 대상의 시간적 지리적 범위, 자료의 이용 가능성 등의 측면에서 상이한 유효성을 보인다. 본 연구의 분석에서 이용하고자 하는 '상향모형'(bottom-up model)은 일반균형적 파급효과나 거시경제적 파급효과를 분석할 수 없다는 단점이 있는 반면, 에너지부문의 공급, 전환, 소비의 세부적 기술조건을 묘사할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 사용할 LEAP 모형구축 시스템은 에너지경제모형에 속한다. 에너지경제모형의 가장 큰 장점은 에너지부문을 거시계량모형이나 응용일반균형모형처럼 하나 혹은 몇 개의 집계변수를 통해 표현하는 것이 아니라 각

5) 에너지관리공단 신재생에너지센터.

6) 현재 국내에서 개발 중인 MCFC 발전설비에 대한 세부적인 자료를 구할 수 없기 때문에 미국에서 개발한 2MW 연료전지의 기술 및 비용 특성을 이용하여 모형을 구축하였다.

최종사용부분의 에너지소비/전환과정에 포함된 기술을 세부적으로 묘사한다는 점이다. 상황모형은 다양한 방법론을 통해서 개발되고 있는데, 가장 대표적인 방법론은 최적화기법으로 MARKAL을 비롯한 대다수의 상황모형에서 채용되었다. 최적화기법을 이용한 모형(optimization models)은 특정한 기술 및 경제적 조건 하에서 주어진 정책목적을 최적화하는 기술이나 정책의 조합을 제시할 수 있는 반면, 에너지시장의 시장실패를 고려하지 않는다는 단점이 있다. 본 연구에서 사용하는 LEAP모형은 방법론적으로는 계량경제모형에 속하며, 에너지부문과 이에 영향을 주는 요인을 몇 개의 모듈로 나누어 하나의 분석시스템으로 구축하는 '모듈팩키지'(modular package) 형태를 띠고 있다.

3. 분석모형의 구축

수소에너지 기술의 개발과 보급이 에너지부문에 미치는 영향을 분석하기 위해 본 연구에서 개발하는 모형은 UNFCCC의 Technology Information Clearing House(TI: Clear)에서 대표적인 온실가스 저감옵션 분석모형 중에 하나로 소개하고 있는 LEAP(Long-range Energy Alternatives Planning) 모형구축 시스템을 기반으로 구축된다.

Selected methods, models and tools

Field:	Energy, Any Energy Model/Tool
Number of models found in 11 Models:	14
Model Name / Description	
1	CADEE Renewable Energy
2	DECADES
3	DECADES version 1.1
4	EFOEMENV
5	ENREP
6	ESG
7	Language Energy Alternatives Planning - LEAP
8	MARKAL
9	MARKAL-MACRO
10	MESSAGE
11	MESSAGE II
12	MICRO-MELDDE
13	RETScreen
14	SUPEROLADE-BIO

Fig. 1 UNFCCC가 추천하는 대표적인 평가모형

LEAP 모형구축 시스템은 분석 대상 에너지부문을 에너지의 생산/수입, 전환, 수요 등을 묘사하는 모듈로 구축하여 에너지정책이나 기술변화의 파급효과를 분석할 수 있도록 한다. 특히 1996 개정된 IPCC 가이드라인의 Tier 1 방법론에서 제시하는 배출계수가 모형에 포함되어 있어 온실가스외 일반 대기오염의 배출량을 일관된 방법론 하에서 추계할 수 있다. LEAP 모형구축 시스템을 이용하여 수소에너지의 개발 및 보급효과를 분석하는 절차는 다음과 같다.

- 수소에너지의 개발 현황, 목표 및 이용 전망
- 수소에너지의 부문별, 기술별 보급 전망
- 최종소비부문의 에너지소비 행태 변화에 따른 에너지소비량 변화 분석

모형은 수소에너지의 개발과 보급 전망을

기초로 수소에너지의 도입이 산업, 가정, 상업, 수송 등 최종소비부문의 에너지소비 행태에 미치는 효과를 예측하여 시나리오로 구축하고 부문별, 에너지원별 에너지 절감효과를 정량적으로 분석한다. 본 연구에서 사용하는 모형은 LEAP 모델링시스템을 이용하여 Kim(2004)에서 개발된 ROK2003 모형을 기반으로 ROK2003+2모형을 구축하여 연료전지 발전기술의 분석에 이용한다. ROK2003은 우리나라의 에너지부문을 크게 최종수요부문, 전환부문, 자원부문 모듈로 나누어 구축하여 각 부문과 관련된 기술 및 정책의 변화가 에너지부문에 미치는 영향이 개별적으로 분석될 수 있도록 하였다. ROK2003의 구조는 다음과 같다.

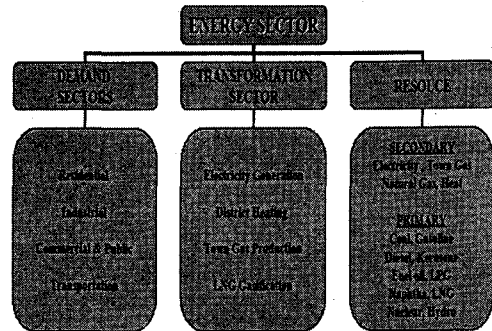


Fig. 2 ROK2003 모형의 구조

ROK2003은 2001년을 기준년도로 구축되었으며 2002년~2013년 기간을 대상으로 에너지부문의 변화를 분석한다. ROK2003은 우리나라의 에너지부문을 가정, 산업, 수송, 가정 및 공공부문을 포함하는 에너지수요와 발전, 지역난방, 도시가스 생산 등을 포함하는 전환부문으로 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.

가정부문의 에너지소비 활동은 크게 취사, 난방, 조명, 및 전자제품 사용 등으로 구분된다. 산업부문은 농림어업, 제조업, 건설업, 그리고 제조업으로 구분하고 각 업종이 산업의 생산에서 차지하는 비중과 생산 단위당 연료별 에너지소비량을 통해서 에너지수요를 계산한다. 상업부문은 건물연면적 단위당 에너지소비량 통계와 연료 구성비를 이용하여 에너지수요를 계산한다. 수송부문은 크게 자가용과 대중교통 및 영업용 차량으로 구분하고 차량 단위당 연료 사용량을 이용해 에너지수요를 구하였다. 발전부문은 발전설비별로 석탄화력, 석유화력, 가스화력, 열병합, 내연력, 원자력, 수력으로 구분하고 각 발전설비는 에너지효율성, 설비용량, 이용률 등을 통해 묘사된다. 지역난방은 열전용보일러에서 생산되어 가정에 공급되는 열생산과정을 묘사하였다.

Table 3 ROK2003모형의 모듈 구성

SECTOR	SUB-SECTORS	ACTIVITY PARAMETERS	FUELS
Residential	Cooking	Households	electricity, LPG
	Space heating	Saturation of end uses (%)	heat, coal
	Lighting		kerosene, town gas
	Appliances		
Industrial	Agriculture & Fishery	GDP in industrial sector (Korean Won, or KRW)	coal, gasoline, kerosene, diesel
	Mining	Shares of each sub-sector (%)	fuel oil, LPG
	Manufacturing	Energy intensity (E/KRW)	town gas, heat, electricity, ammonia
	Construction	Fuel share (%)	
	Commercial & Public	Aggregated	Floorspace (m ²) Energy intensity (E/m ²) Fuel share (%)
Transportation	Households vehicles	Vehicle population	gasoline, diesel, LPG
	Mass Transit & freight	Shares of each vehicle type (%) Energy intensity (E/vehicle)	natural gas, electricity, fuel oil
Electricity Transmission & Distribution			Losses (%)
Electricity Generation	Coal steam	System load factor (%)	Coal
	Oil steam	Process shares (%)	Fuel oil
	LNG steam	Efficiency (%)	Natural gas
	Combined cycle	Base year output	Diesel
	Internal combustion	Exogenous capacity	Nuclear
	Nuclear	Merit order base	Hydro
	Hydro	intermittent, peak	
District Heating	Heat only boiler (HOH)	Efficiency (%)	Natural gas, fuel oil, town gas
Town Gas Production		Efficiency (%)	Natural gas, LPG
LNG Gasification		Efficiency (%)	LNG

4. ROK2003-H2모형의 분석 결과

본 연구는 LEAP 모델링 시스템으로 구축한 ROK2003-H2모형을 이용하여 연료전지를 이용한 발전의 에너지 및 환경부문 파급효과를 분석하였다. 모형을 이용한 시뮬레이션을 위해서 국내 정책 및 기술 관련 자료를 기초로 시나리오(H2)를 구축하여 기준안 시나리오(BAU)와 그 결과를 비교하였다. 시나리오 H2는 2008년에 70MW의 Molten Carbonate 연료전지를 사용한 발전설비를 설치하여 2011년까지 370MW까지로 설비를 확대하는 내용을 모형에 반영하였으며, 그에 따른 에너지 및 환경부문의 효과를 분석하였다.

LEAP 모델링 시스템은 에너지기술이 변화에 따른 에너지수급 및 대기오염 배출량 변화를 분석하도록 해주는데, 이때 온실가스를 비롯한 대기오염의 배출량은 IPCC의 배출계수를 기초로 구축한 '기술 및 환경 데이터베이스' (Technology and Environment Database, TED)를 이용하여 계산한다. 본 연구에서 분석되는 연료전지 발전기술의 기술 및

환경적 측면의 특성은 OECD/IEA(2002)가 제시한 주요 발전설비의 효율성, 비용, 및 대기오염 배출계수를 사용하였다.

Table 4 유형별 발전기술 특성자료 (OECD/IEA, 2002)

Technology	Diesel Engine	Gas Engine	Gas Turbine	Micro-turbine	Fuel cell	Photo-voltaic
Size (kW)	30-10 000 +	50-5 000 +	1 000 +	30-200	50-1 000 +	1 +
Efficiency (%)	36-43	38-42	31-40	25-30	35-54	n.a.
Generator cost (USD/kW)	125-300	250-600	300-600	500-750	1 500-3 000	n.a.
Turnkey cost (USD/kW)	350-500	600-1 000	650-900	1 000-1 300	1 900-3 500	5 000-7 000
Heat recovery cost (USD/kW)	n.a.	75-150	100-200	200-600	included	n.a.
O&M cost (USD/MWh)	5-10	7-15	3-8	5-10	5-10	1-4
CO ₂ emissions (kg/MWh)	650	550-620	580-680	720	430-490	0
NO _x emissions (kg/MWh)	10	0.2-1.0	0.3-0.5	0.1	0.005-0.01	0

ROK2003에서 전망된 우리나라의 2011년 최종에너지소비비는 약 226,642천toe로 추정된다. ROK2003은 우리나라의 인구/가구, 경제성장, 산업구조, 에너지효율성, 건물연면적, 차종별 보급 등의 전망에 기초하여 연도별 최종에너지 수요를 계산한다. 이때 사용된 자료는 정부 각 부처에서 수립한 중장기 계획 및 정책목표를 기초로 작성되었으며, 자료들 간의 일관성을 유지하기 위해서 일부 조정되었다. 7)

Table 5 우리나라의 최종에너지소비 전망(천toe)

	2004	2008	2009	2010	2011
가정	23,147.1	24,616.7	24,983.2	25,544.6	25,686.0
산업	90,993.4	105,603.2	109,598.4	113,702.2	117,913.3
상업	8,560.3	10,424.9	10,890.8	11,343.9	11,780.4
공공기관	3.2	3.9	4.1	4.3	4.5
수출	47,955.2	58,745.7	61,331.3	63,879.8	66,396.7
전체	170,659.2	199,394.4	206,807.8	214,274.8	221,785.9

연료전지를 이용한 발전의 가장 큰 영향은 발전부문에서의 대기오염 배출량 과 발전연료별 투입량 변화이다. Table 6은 2011년에 연료전지의 발전설비를 370MW로 확대하는 경우에 대기오염 배출량을 비교한 것이다. H2 시나리오의 경우 CO를 비롯한 대부분의 대기오염배출량은 BAU에 감소하며, 온실가스 배출량 역시 BAU 시나리오의 경우 35,728백만tCO이지만 H2 시나리오의 경우 35,433백만tCO로 약 295백만tCO가 감소한다.

Table 6 2011년 시나리오별 오염배출량(톤)

	CO	세탄	NOx	NO	NMVOC	SO ₂
BAU	28,146	1,412	422,136	1,969	7,039	1,341,858
H2	27,914	1,401	418,653	1,953	6,981	1,330,785

2011년 370MW의 연료전지 발전설비의 도입을 가정하는 시나리오 H2의 시뮬레이션 결과를 발전부문의 연료별 투입구조 측면에서 BAU 시나리오와 비교해보면 몇 가지 중요한 변화를 발견하게 된다. 첫째, 천연가스를 연료로 하는 MCFC 기술의 효율성이 45~60% 수준으로 기존 발전설비에 비해 크게 높지 않은 수준이다. 따라서 시나리오 H2의 TPES는 BAU 시나리오에 비해 크게 낮지 않은 수준을 유지한다. H2

7) ROK2003 모형에 대해서는 Kim and Shin(2004)을 참고.

하에서의 TPES는 252,754천toe로 BAU 시나리오의 252,759천toe에 비해 약 5천toe 정도 작은 수준이다. 이는 물에서 직접 수소를 분리하는 방식이 아닌 천연가스나 석탄을 이용하는 연료전지 방식의 경우 TPES의 감소분이 그리 크지 않을 것이라는 점을 시사하는 것이다.

둘째, 연료전지 발전의 운영방식에 따라 발전 부문의 연료믹스는 상이하게 변할 것이다. 본 연구에서는 연료전지 발전소를 기저부하로 고려하기 때문에 다른 기저부하 발전설비인 원자력과 석탄 기력의 발전연료인 원자력과 석탄의 사용량이 감소하고 연료전지 발전소의 연료인 천연가스의 사용량이 증가하는 것으로 나타났다. 2011년 H2 시나리오의 경우 원자력과 석탄의 TPES는 각각 16,487천toe와 58,342천toe로 BAU 시나리오에 비해 137천toe와 277천toe 감소한다. 하지만 천연가스의 TPES는 18,416천toe에서 18,836천toe로 오히려 420천toe가 증가한다.

Table 7 2011년 시나리오별 TPES(천toe)

	석탄	석유	천연가스	원자력	TPES
H2	53,342	159,094	18,836	16,437	252,759
BAU	53,619	159,095	18,416	16,624	252,754

이상의 결과를 종합해보면 연료전지를 이용한 발전은 대기오염 및 온실가스 배출량의 감소에 큰 기여를 하는 것을 알 수 있다. 하지만 일차에너지 소비량의 측면에서는 연료전지 발전에 있어서도 상당량의 천연가스가 사용되기 때문에 에너지절약 효과는 그리 크지 않으며 그 대신 에너지믹스의 변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 연료전지 발전설비의 운영방식에 따라 달라질 수 있다. 본 연구처럼 기저부하로 운영하는 경우에는 석탄기력과 원자력의 발전을 대체할 것이고, 중간부하나 첨두부하로 운영하는 경우에는 내연력이나 LNG 발전을 대체할 것이다. 현재 연료전지를 이용한 발전비용은 다른 발전기술에 비해 높은 수준이기 때문에 기저부하로 이용하는 경우 전체 발전비용은 크게 증가할 것으로 보인다.

References

[1] 김정인, 2003, "수소에너지 이용 현황과 전망," CEO Energy Briefs 2003-24호, 에너지경제연구원.
 [2] 김재윤, 2003, "수소에너지 혁명을 주도하는 연료 전지," CEO Information, 삼성경제연구소.
 [3] 김호석 · 신의순, 2005, 기후변화협약과 기후정책, 집문당.
 [3] 대한민국정부, 2002, 제2차 국가에너지기본계획 (2002~2011), 대한민국정부.
 [4] 산업자원부, 2003, 제2차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획 (2003~2012), 산업자원부.
 [5] 한철희, 2003, "수소경제로의 이동," 세계 에너지 정책 동향.
 [6] Hoseok Kim, 2004, "The Application of the LEAP

Software Tool to Energy Sector Analysis in the Republic of Korea," Regional Papers Series, Nautilus Institute. (www.nautilus.org/papers/regional.html)
 [7] Hoseok Kim, Euisoon Shin, 2004, "The Impact of Climate Policy on ROK's Energy Sector," 24th USAEE/IAEE North American Conference, July 2004, Washington, D.C.
 [8] OECD/IEA (2002), *Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets*, International Energy Agency.
 [9] A. Pridmore, Abigail Bristow, 2002, "The role of hydrogen in powering road transport," Tyndall Working Paper 19, Tyndall Centre for Climate Change Research.
 [10] Hochul Shin, Jinwon Park, Hoseok Kim, Euisoon Shin, 2005, "Environmental and Economic Assessment of Landfill Gas Electricity Generation in Korea Using LEAP Model," *Energy Policy* 33.
 [11] H. Turton, Leonardo Barreto, 2004, "Cars, Hydrogen and Climate Change: A Long-term Analysis with the ERIS Model," Paper Presented at the 6th IAEE European Conference 2004, Zurich, Switzerland.
 [12] US DOE, 2002, *National Hydrogen Energy Roadmap*, United States Department of Energy.