

에너지자원 수급 전망 분석 및 최적 기술 개발 대안에 관한 연구

이성곤, 김종욱, 윤용진, 강성필
한국에너지기술연구원 에너지정책연구부

A study on World Energy Outlook and the Optimal alternatives for Energy technology development

Seong-Kon Lee, Jong-Wook Kim, Yong-Jin Yoon
Energy Policy Research Department, Korea Institute of Energy Research

1. 서론

최근 Dubai유의 가격이 배럴당 \$60/bbl 이상의 지속적인 고유가를 비롯하여 에너지를 둘러싼 에너지환경의 급속한 변화로 인하여 에너지 자원동향 및 수급전망부문은 에너지분야 뿐만 아니라 국가경제 전반에 중요한 요인으로 작용하고 있다.

유가 상승할 경우 물가상승, 소비 감소, 금리인상, 투자 감소, 노동자의 실질임금하락, 고용 감소, 수출입관련 교역조건악화 등으로 경상수지 악화 현상이 발생한다. 나아가 국민총생산의 감소를 통한 경기침체에 이른다. 특히 우리나라는 에너지다소비국으로 에너지수입의 약 97%를 수입에 의존하고 있는 실정이며 세계 에너지 자원동향과 전망에 직접적인 영향을 받는다. 또한 기후변화협약의 발효로 인하여 향후 우리나라가 온실가스감축대상국이 될 경우 막대한 경제적 타격을 입을 것으로 예상된다.

본 연구는 고유가, 기후변화협약, 수소경제사회구현 등 주요 에너지 환경을 고려하여 석유, 석탄, 천연가스 등 주요 에너지자원을 중심으로 이들 자원의 매장량, 생산량, 가채년수 및 향후 전망 분석을 체계적으로 분석하였다. 또한 분석된 에너지자원 수급 현황 및 주요 에너지 환경을 고려하여 수소경제사회로 나아가는 가교역할을 할 수 있는 에너지 기술개발 정책의 최적 기술개발 대안을 제시하였다. 본 연구결과는 향후 국가에너지의 안정적 수급 및 에너지 기술개발 측면에서 정책입안자 및 의사결정자(DM)의 정책 결정시 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 방법

에너지 자원의 수급동향 및 전망에 대한 선진국은 정기적으로 에너지자원의 수급전망에 대하여 분석하고 이를 DB화하고 있다. 특히 IEA나 미국 EIA와 같은 기관은 매년 에너지자원관련 동향 및 자료를 배포하고 Web으로 공개를 하고 있다. 우리나라의 경우 정기적으로 세계 에너지자원의 수급동향 및 전망에 대하여 IEA나 외부자료를 인용하고 있으나 미진한 실정이고, 에너지 전문연구기관에서 세계 에너지 자원수급 및 전망에 대하여 체계적으로 관리되어지고 있지 않다. 본 연구는 국내외 여러 연구기관 및 정부기관의 자료, 해외 선진기관의 최신 자료 및 정기간행물 등을 참조하여 에너지 자원의 수급동향 및 전망에 대하여 분석하고자 한다. 분석대상 자료는 IEA, EIA, EU research, NEDO, PNNL, BP 등 해외 우수기관의 자료를 대상으로 하여 자원수급전망을 분석하고 이를 근간으로 우리나라의 에너지기술 개발 최적 대안을 제시하고자 한다.

3. 주요 에너지자원 현황

3-1. 석유

유가는 작년 중순에 50달러 시대에 진입하여 현재는 2006년 4월 기준 Dubai유는 \$67/bbl로 고유가 시대가 지속되고 있다. Fig.1은 O & Gas Journal, HIS Energy, BP, OPEC, World Oil 등 선진국 및 석유 메이저의 자료를 기준으로 한 것이며 기관마다 조사 방법의 차이로 인한 매장량의 차이가 존재하지만 매장량의 차이는 크지 않다. Oil & Gas Journal에는 석유 매장량을 약 1,722억 톤으로 추정하고 있다.

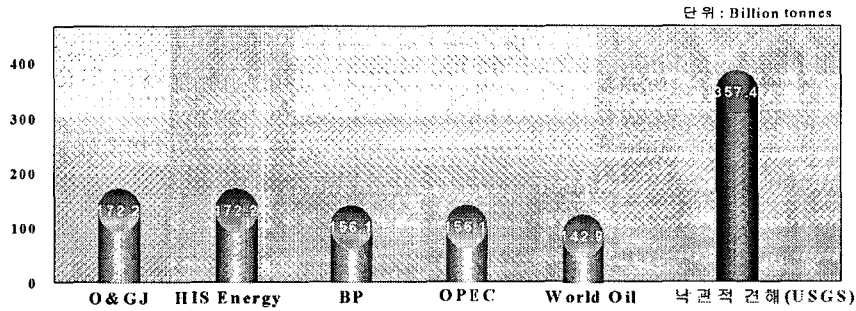


Figure.1 석유매장량(2003년 말)

USGS의 낙관적 견해에서의 매장량은 3,574억톤으로 추정된다. Fig.2와 같이 21%를 차지하고 있는 누적생산량(Cumulative Production)은 이미 채취되어 비축되어 있는 석유를 의미하며, 이를 제외한 부존량은 석유 매장량(3,574억톤)으로 정의 할 수 있다. 석유시추 및 추출기술의 진보에 따라 석유생산량 증가에 따른 석유 매장량 증가치(Reserves Growth) 990억 톤과 아직 확인되지 않고(Undiscovered) 신규 유전 개발에 따라 사용 가능한 석유 매장량 1,280억톤을 더한 값이 낙관적 견해에 따른 세계 석유 최대 매장량으로 추정된다.

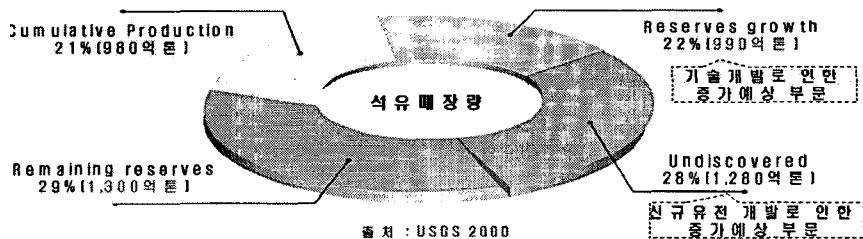


Figure.2 석유최대매장량(USGS 2000)

Table.1 석유 가채년수(R/P)

단위: 백만톤

구분	03년 매장량	03년 연간생산량	가채년수
O & G J	172,176	3,697 (BP 2003)	47
HIS	172,176		47
BP	156,128		42
OPEC	156,128		42
World Oil	142,936		39
낙관적 견해(USGS 2000)	357,408		97

출처: World Energy Outlook 2004, BP(2004) 통계자료, USGS 2000

석유의 가채년수를 살펴보면 Fig.3과 같다. Oil & Gas Journal, HIP, BP, OPEC의 자료를 기준으로 하여 BP의 연간생산량 나누어서 산출한 결과 석유 가채년수는 약 39~43년으로 예상된다. USGS(2000)의 경우를 낙관적인 가채년수로 가정할 경우 약 97년으로 예상된다.

3-2. 석탄

석유와 비교하여 석탄의 장점은 석탄의 풍부한 매장량, 낮은 지역편재성, 저렴한 비용 등이 있다. Fig.3은 세계 석탄 매장량을 나타낸 자료이다. BP사의 통계자료에 따르면 2003년 말 기준 전세계 석탄 매장량은 약 1조 톤으로 추정하고 있다. 미국 World Energy Council 2003에서 2002년말 검증된 석탄의 매장량은 약 9,070억톤으로 약 200년간 사용할 수 있을 정도의 매장량으로 추정하였다.

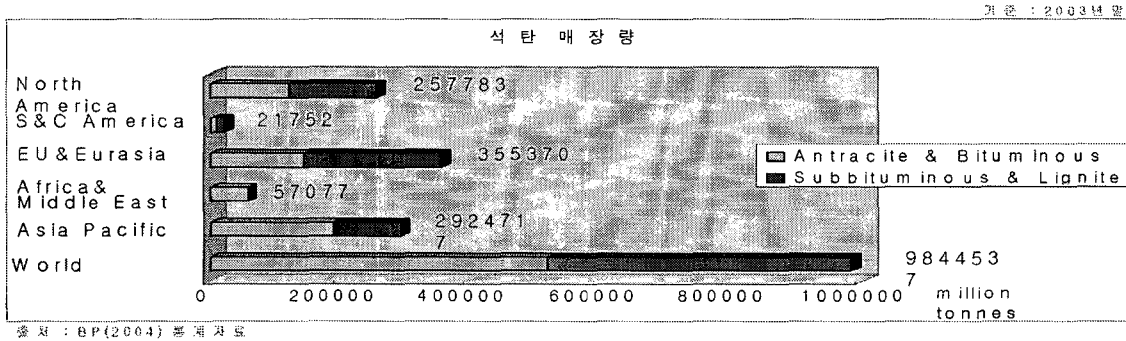


Figure.3 석탄 매장량(2003년 말)

Fig.4는 석탄의 발전부문 비율로 2004년 한전전력통계자료를 기준으로 살펴보면 발전설비측면에서 석탄계가 약 30%, 또한 전세계 발전량 16,054TWh중 약 39%로 가장 많이 차지하고 있다. 석탄은 과거의 사양산업이 아니며, 세계 발전부문에서 큰 역할을 차지하고 있으며 향후에도 지속적으로 전세계 발전 부문에서 중요한 부분을 차지할 것으로 예상된다.

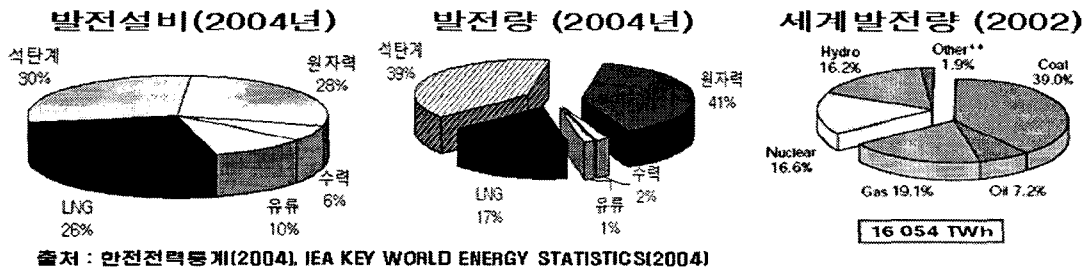


Figure.4 발전부문 석탄 비율

Table.2 석탄의 가채년수(R/P)

단위 : 백만톤

구분	03년 매장량	03년 연간생산량	가채년수
North America	257783	1044	247
S & Cent. America	21752	61	354
Europe & Eurasia	355370	1185	300
Africa&Middle East	57077	245	233
Asia Pacific	292471	2588	113
World	984453	5127	192
China	114500	1659	69
India	84396	367	230
WEC(2003)	907264	5127	177

출처 : BP(2004) 통계자료, World Energy Council 2003

석탄의 가채년수는 Table.2와 같으며 BP(2004)자료를 기준으로 할 경우 석탄의 가채년수는 약 192년으로 예상된다. WEC(World Energy Council 2003) 자료를 기준으로 할 경우 석탄

의 가채년수는 약 177년으로 예상된다. 낙관적 견해의 최대 사용 가능한 석탄의 가채년수는 약 200년으로 볼 수 있다. 2003년 연간생산량이 가장 많은 Asia Pacific지역의 가채년수는 113년으로 세계의 평균 가채년수에 절반을 넘는 수준이다.

3-3. 천연가스

천연가스의 매장량은 Fig.5와 같다. BP사의 2003년말 세계 가스 매장량은 약 176조 cubic meter로 추정되며, 세계 가스정보수집 국제기구인 Cedigaz는 세계 천연가스 매장량을 약 180조 cubic meter로 추정하였다.

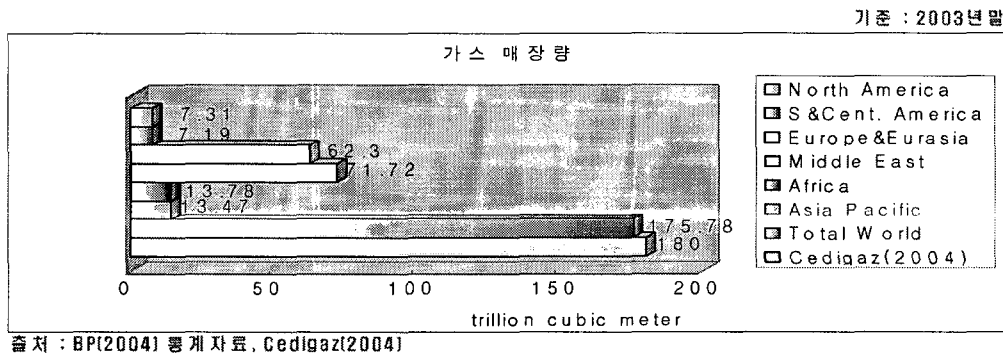


Figure.5 2003년말 가스 매장량

Middle East지역의 가스 매장량은 717억톤 cubic meter로 기존 석유자원이 풍부한 지역에 천연가스가 많이 매장되어있고, 이는 전세계 매장량의 약 40%에 해당한다. Europe & Eurasia지역에 약 623억톤 cubic meter로 세계에서 2번째로 천연가스가 많이 매장되어 있다. 또한 러시아, 이란, 카타르 등의 3개국 이 전세계 천연가스 매장량의 약 55%를 보유하고 있는 실정이다. 천연가스의 가채년수는 Table.3과 같다. BP(2004)자료와 프랑스의 Cedigaz(2004)의 자료를 기준으로 할 경우 천연가스의 가채년수는 각각 약 67년 및 69년으로 예상된다.

Table.3 천연가스 가채년수(R/P)

단위: Billion cubic meter

구분	03년 매장량	03년 연간생산량	가채년수
North America	7,310	766.3	9.5
S & Cent. America	7,190	118.6	60.6
Europe & Eurasia	62,300	1,023.9	60.8
Middle East	71,720	257.7	278.3
Africa	13,780	141.4	97.5
Asia Pacific	13,470	310.5	43.4
World	175,780	2,618.5	67.1
China	1,820	34.1	53.4
India	850	30.1	28.2
Cedigaz(2004)	180,000	2,618.5	68.7

출처 : BP(2004) 통계자료

지역별 천연가스 가채년수의 경우 Middle East, Europe & Eurasia, South & Central America지역의 가채년수가 높게 나타났다. Middle East지역은 비록 가채년수가 약 278년으로 가장 많지만 상대적으로 연간 생산량이 Europe & Eurasia 지역에 비하여 아주 낮은 수준이다. 즉 Middle East지역의 천연가스 가채년수가 상대적으로 높지만 생산량이 낮기에 Middle East지역을 제외한 타지역의 천연가스 가채년수 평균은 약 54년으로 추정된다.

3-4. 종합

석유자원에 대한 낙관적 견해와 비관적 견해를 고려할 때 현재 세계적으로 오일생산의 Peak에 대한 비관적 견해가 지배적이다. 미국의 지질학자 Campbell은 2010년경에 Peak Oil에 이를 것이라고 예측하였고, 석유생산정점연구회(ASPO) 회장인 Kjell Aleklett 스웨덴 Uppsala Univ. 교수는 Peak Oil은 2008년경에 올 것이라고 예측하였다. 현재 에너지소비 10위국, 석유수입 4위의 에너지다소비국으로 2010년 석유생산량이 정점(Peak Oil)을 지나면 국내 석유 공급에 막대한 차질이 예상되며, 석유의 가격이 문제가 아니며 석유확보가 관건이 될 것이다. Fig. 6의 에너지장기수급 시나리오를 나타낸 것으로 21세기 에너지시스템은 수소 생산을 중심으로 한 경쟁기술들의 성공여부에 의하여 그 양상이 크게 달라질 것으로 전망된다. 시나리오 1과 시나리오 2의 경우를 종합하면 석탄활용 기술 및 신재생에너지기술 개발이 2095년까지 중요한 역할을 할 것이고, 특히 석탄활용 기술이 가장 큰 역할을 차지할 것이다.

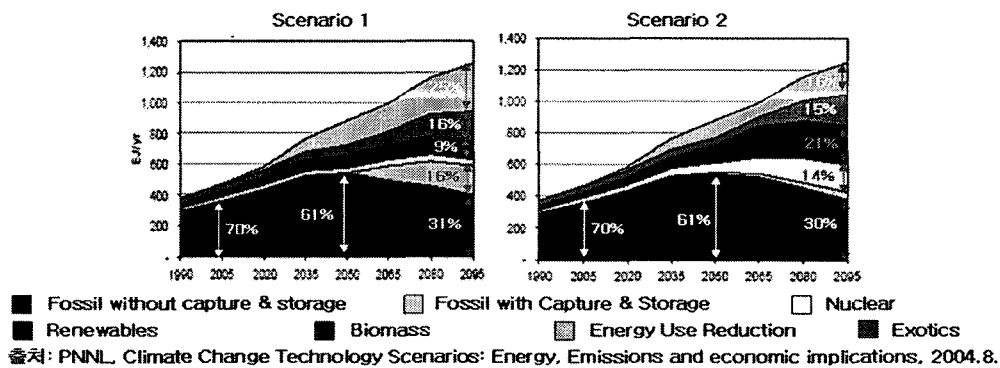


Figure. 6 장기수급전망시나리오

4. 최적 기술개발 대안

4-1. 기술 동향

Table.4는 선진국에서 추진중인 석탄활용 기술Program에 대한 것이다. 미국은 최근 2000년 초반부터 Vision 21 프로그램 실시, 2003년 석탄가스화에서 수소제조, CO₂ 분리회수까지 기술을 통합하여 Zero emission을 실현하는 1조 2000억원 규모의 FutuerGen 플랜트를 추진하고 있다. 일본은 2004년부터 2030년까지 C3 Initiative프로그램을 추진하고 있다.

Table.4 선진국 동향

Project명	기술개요	추진실적
미국	Vision 21	- Future Gen을 추진하기 위한 요소 기술 개발 - 화석연료의 효율적 이용하기 위한 CO ₂ 처리 요소 기술 개발 - CO ₂ 처리 기술개발 예산: 35,000억원
	Clean Coal Technology Program	- IGCC 발전 설비 개발 - 1985년 DOE 지원으로 시작 - Texaco, Destec, Kellogg사 등을 중심으로 연구 개발
	FutureGen	- 석탄 가스화 후 수소제조, CO ₂ 분리 기술 통합 - 2003년 1조 2,000억원으로 zero emission plant 추진 - 석탄 가스화 시 발생 CO ₂ 를 포집하여 농축시켜 저장
일본	IGFC-Eagle Project Integrated Coal Gasification Fuel Cell	- IGCC와 연료전지 결합한 고효율 발전시스템 - 150톤/일 규모 Pilot Plant 운전 중 - 2006년부터 연료 전지 시설 추가 - 2008년경 상용화
	Hyper-Coal Power Generation System	- 비효율적인 Ash-free석탄의 파쇄 필요 - 상용화를 위해 경제적인 범용 용매 필요 - Hyper-Coal 생산 공정 개발(2007 목표)
	DME from Coal Bed-Methane Project	- 매연이 없고 SOx 등 공해배출 적은 DME 제조 - 100톤/일 규모의 Pilot Plant 건설(2005) - 2006년까지 성능평가 및 상업화 공정설계 - 예상 투자규모: 2.5억불
	(HyFr-Ring) Hydrogen-Production Process	- 수성반응(석탄+물)/CO ₂ 흡수 등 반응용 단독반응기에서 촉진하는 기술 - 80톤의 사용가능 수소제조 기술 확인 - 2001년부터 5년간 수행 - 2004년부터 소규모 Plant 건설, Scale-Up계획

일본은 특히 2004년부터 IGFC 기술개발을 위하여 Eagle Project를 시작하여, 2008년경 상용화 예정이다. 선진외국의 경우 대부분 청정석탄기술이 상용화 또는 실증단계 진입을 하였

으나, 국내는 "기후변화협약체제(UNFCCC, 1994.3)"을 계기로 "청정에너지 기술개발 5개년 계획(94~98)"의 일환으로 석탄 및 석유 등 주요 화석연료의 청정기술 확보를 도모한 바가 있다. 그러나 이러한 기술은 기초기술 확보단계 수준에서 끝났으며, 2000년 이후 기후변화협약 논란 이후 석탄활용 기술개발에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

4-2. 석탄활용 기술개발

석탄활용 기술개발은 석탄 직접이용기술과 변환이용기술의 2가지로 분류한다. 직접이용기술은 연소와 석탄전처리로 구분하며, 변환이용기술은 가스화와 직접액화로 구분한다. 석탄을 통한 생산물은 전기, 스팀, 수소, 액체연료, 석유화학연료가 있으며, 일부 기술은 현재 성숙단계에 있고, 나머지 일부 기술은 기술개발단계 및 시작단계에 있는 실정이다.

석탄청정이용 기술은 분류층석탄가스화기술, 석탄가스화 연료전지복합발전기술, 고품질석탄이용 고효율연소기술, 석탄이용수소생산 공정기술, 석탄 합성석유 및 고효율 전기동시 생산, 초고효율 발전(IFC)등 다양한 기술이 있다. 그중에서 현재의 고유가 시대 및 에너지 환경을 고려할 경우 석탄을 이용하여 가스화후 액화를 거쳐 석탄 합성석유를 생산하고, 연료전지복합발전을 통하여 전기를 생산하는 기술로 발전과 석탄 합성석유생산에 초점을 맞추어야 한다. 현재 국내의 합성석유 생산수준은 벤치급 수준의 기초기술을 확보한 수준이다. 석탄가스화복합발전(IGCC)의 경우 석탄 3톤/일 규모 소형 가스화 실증 플랜트와 연료전지는 100kw급 이하로 수백MW급으로 확대 개발 필요하며, 복합공장은 개념연구 수준이다. 미국의 복합공장 연구프로그램이 있으며, 남아공의 Sasol 공정, 중국의 합성 석유 생산 단위 공정 Project는 있으나 복합 공정은 전세계적으로 실현된바 없기에, 국산기술로 1호기 복합공장을 건설하여 실증실험을 통한 국산 공장설계 기술을 확보한 후, 국산기술로 2호기 복합공장을 건설하여야 한다. 단독으로 합성석유생산시 배럴당 25~40\$로 유가의 생산가격을 낮출 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

세계자원수급 전망의 체계적 분석을 통하여 석유, 석탄, 천연가스의 현황을 체계적으로 분석하였다. 본 연구결과 화석에너지원중 풍부한 매장량과 저렴한 원가, 낮은 지역 편재성, 석유와 비교시 뛰어난 경제성이라는 장점을 가진 석탄자원을 이용한 석탄청정기술 개발이 최적 대안임을 알 수 있고, 선택과 집중을 통한 에너지기술개발 전략시 최적 대안으로 고려하여야 할 것이다. 또한 석탄청정이용 에너지기술개발을 통하여 고유가를 대비한 수송용 연료공급과 장기적으로는 수소경제구현이 가능할 것입니다. 나아가 석탄활용 에너지기술 개발은 전세계적인 Paradigm이다. 본 연구 결과는 향후 에너지분야 정책결정시 기초 자료로 활용될 수 있다.

6. 참고문헌

1. 김종욱; 이성곤, 세계에너지 자원수급 전망분석과 대책, 한국에너지기술연구원, 2005
2. BP statistics of world energy, Jun 2004, British Petroleum, 2004.
3. Clean Coal Technologies in Japan, NEDO, 2004.
4. Energy in Japan 2005, Agency of Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Trade and Industry, 2005
5. Energy End-Use Technologies for the 21st Century, WEC, 2004.
6. International Energy Outlook 2005, EIA, Jun 2005.
7. Keyword Energy Statistics 2005, IEA, 2005.
8. Resources and future availability of energy sources, ECN, 2005
9. World Energy Outlook 2004, IEA, 2004.

10. World energy, technology and climate policy outlook 2030, European Commission, 2005