

# 석탄에너지 이용 기술과 시장 동향



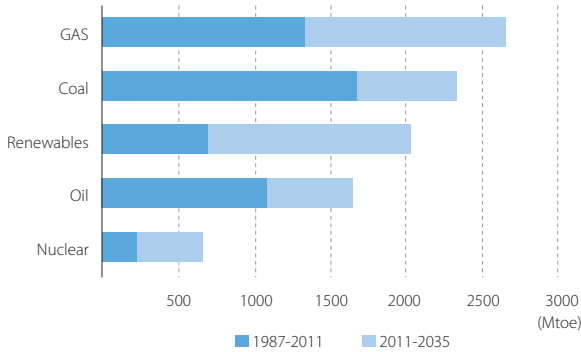
이현동  
한전 전력연구원 책임연구원

## 1. 전 세계 석탄화력 시장 전망

최근 중국과 인도 및 동남아시아를 비롯한 비 OECD 개도국의 급격한 경제성장으로 인한 에너지수요는 전 세계적인 에너지수요 증가를 주도하고 있으며, 향후에도 지속적인 증가가 예상된다.

이에 따라 석유와 석탄을 비롯한 1차 에너지 자원의 수요가 급증하고 있는 상황이다. 특히 1차 에너지 자원의 거의 전량을 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우 지속적인 에너지수입 비용 증가로 인한 경제적 압박이 예상된다. 참고로 World Coal Association의 자료에 따르면 우리나라는 2012년 기준으

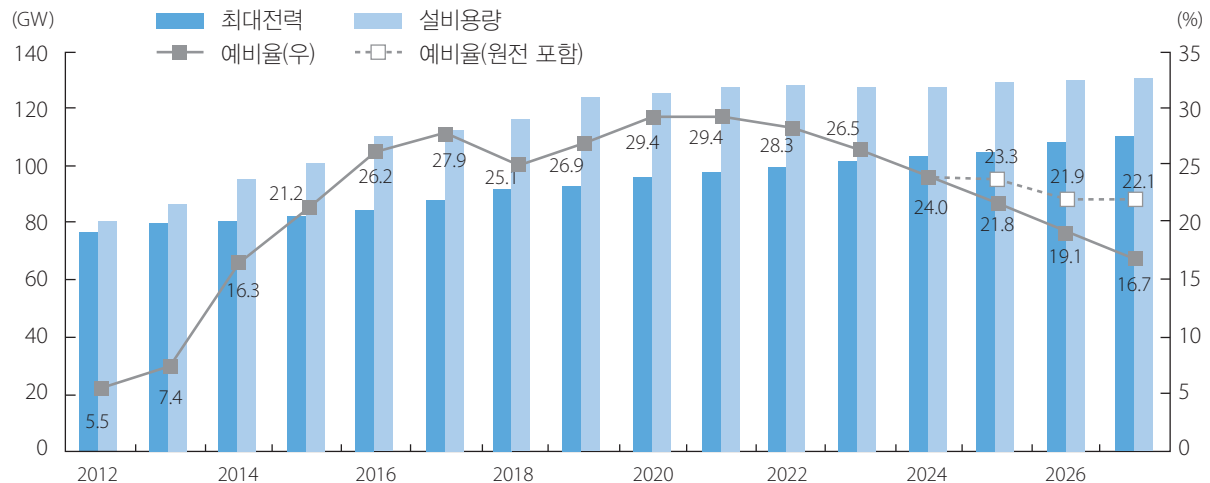
로 125Mt의 석탄을 수입, 전 세계 석탄 수입 국가 중 4위를 기록하고 있다.



※ 출처 : 2013 World Energy Outlook, IEA

[그림 1] 총 1차 에너지 수요 현황 및 전망

전 세계 석탄화력 발전 용량은 2010년 1,649GW 규모에서 2030년 2,127GW 규모로 성장할 것으로 예상된다. 향후 석탄화력 발전의 견인 요인으로는 전기 수요의 증가, 노후 발전소의 해체, 천연가스 가격의 변동성, 발전 기술의 진보, 풍부한 석탄 매장량, 저렴한 가격 등이 있다. 반면, 저해 요인으로는 환경 보호 정책, 대체 연료에 대한 선호도 상승, 석탄의 가격 변동성, 경제 위기 이후의 자금 조달의 어려움, 환경세 및 탄소세 등의 불확실성 등을 들 수 있다.



※ 출처 : 석탄화력 발전시장 전망, 한국과학기술정보연구원

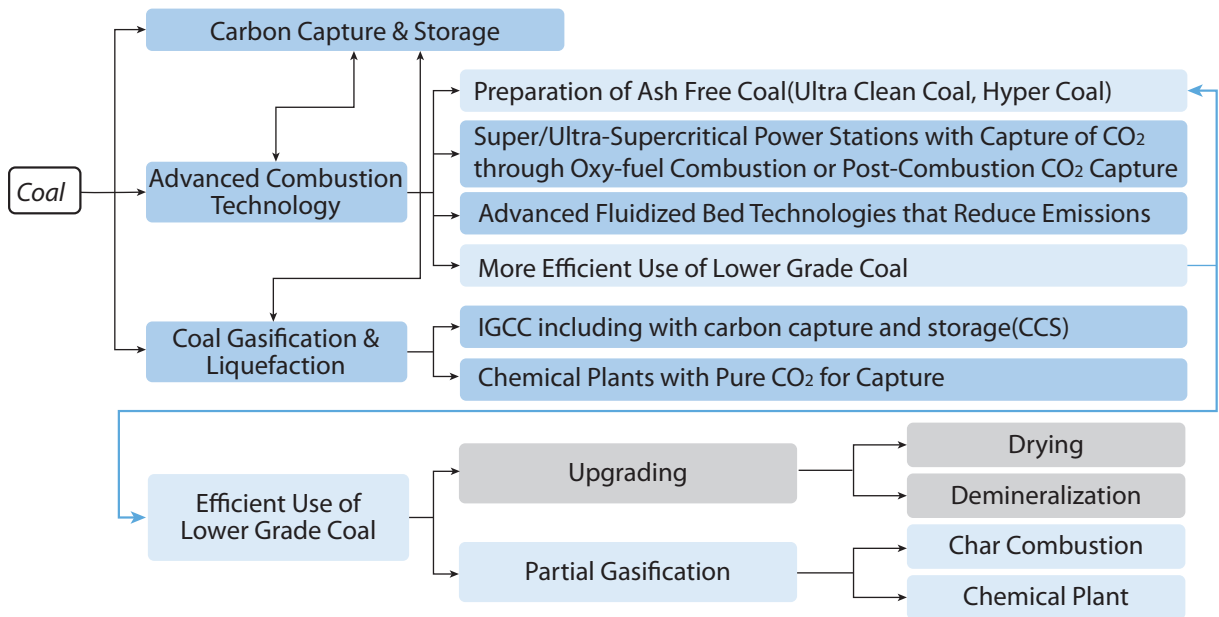
[그림 2] 제6차 전력수급기본계획에 따른 전력수급 전망

최근 미국의 셰일가스 개발붐에 따른 미국 내 석탄 수요 감소로 인해 미국산 석탄의 수출물량이 증가하면서 국제적으로 석탄가격의 하락 현상이 나타나고 있다. 하지만 석탄은 현재에도 전 세계적으로 주요 에너지 자원 중 그 비중이 가장 높은 대표적인 에너지 자원이다. 특히, 전력생산 분야에 있어서는 그 비중이 약 40% 이상 유지하고 있고, 향후에도 지속적으로 높은 비중을 유지해 나갈 것으로 예상되고 있다.

## 2. 국내 석탄화력 발전 전망

제6차 전력 수급기본계획에 따르면 우리나라의 전력 소비는 계획 기간(2013~2027년) 동안 연평균 2.2%씩 증가하여 2027년에 65만5,305GWh에 이를 것으로 예측되었다. 또 신규설비 및 건설 중인 확정 설비를 포함하면 2013~2027년 기간 동안 5만 923MW(원전 11기, 석탄 25기, LNG 21기) 건설에 약 70조 원이 소요될 전망이다.

이 중 석탄화력 발전설비에 투자되는 투자비는 28조 원 가량이며, 신규 반영된 물량만 12조 원 규모이다. 또한, 제5~6차 전력수급기본계획상 발전설비 투자계획에 따라 민간 발전사업자들이 추진하는 프로



※출처 : Asia Pacific Partnership, Clean Fossil Energy Working Group(2007)

[그림 3] 석탄 이용기술 관련 주요 Theme

젝트는 LNG 복합화력 5개, 석탄화력 발전 6개로 이들 11개 프로젝트의 총 투자 예상 금액은 약 23조 원에 달하며, 발전 프로젝트 파이낸싱 형태의 자금 조달은 약 16조 원에 이를 것으로 예상된다.

### 3. 석탄화력 신기술 동향

석탄을 이용하는 전통적인 방법은 석탄을 직접적으로 연소시켜 이때 발생하는 화학적인 연소열을 활용하는 기술이었다. 그러나 최근에 들어와 석탄에 대한 물리화학적인 다양한 연구결과를 기반으로 석탄을 채광에서부터 연소 전 건조 및 슬러리화, 가스화, 액화 등을 통한 다양한 방식에서의 응용을 위한 연구들이 실험실적인 기초연구를 벗어나 실제 현장에 실증화 되는 기술로서 구현되고 있다.

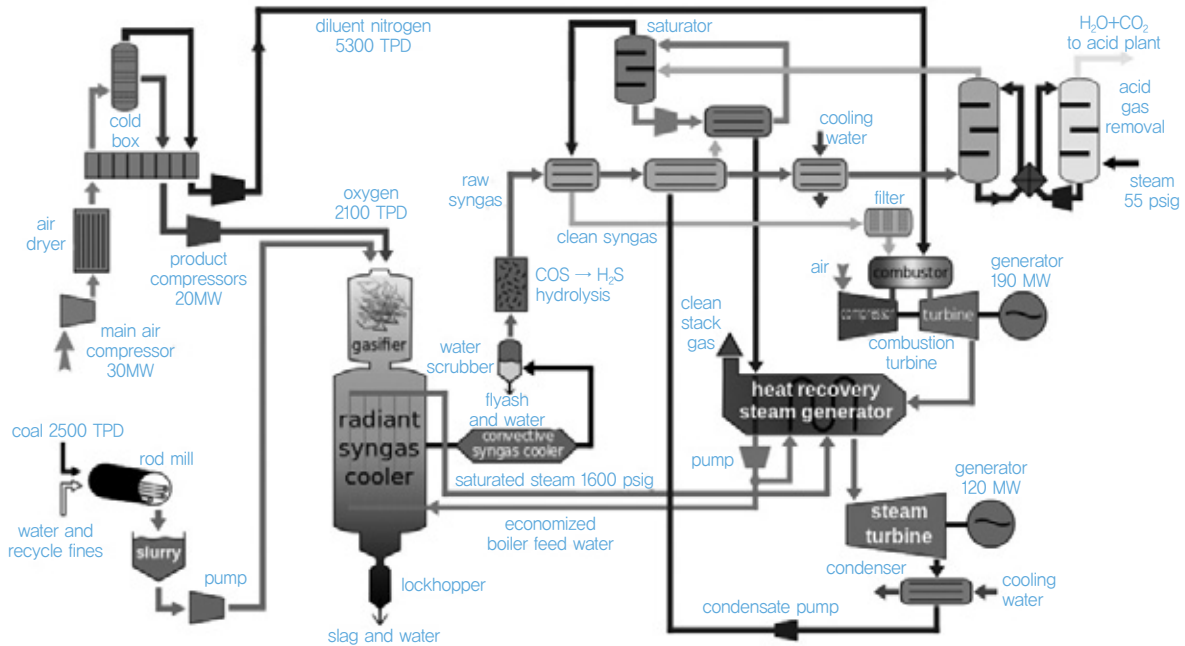
따라서 석탄화력 발전 기술이라 함은 석탄을 연소시켜 전력을 생산하는 전통적인 방식의 기술에서부터 석탄의 건조 및 개질기술, 효율적인 석탄 연소를

위한 연소기 개발 기술 등 종합적인 기술을 아우르는 상당히 다양하고 복잡한 복합 기술로 볼 수도 있을 것이다.

현재의 에너지산업, 특히 석탄을 주 연료로 사용하는 전력산업의 핵심적인 이슈는 고효율 친환경(High-Efficiency, Low-Emissions)의 청정석탄발전기술(CCT, Clean Coal Technology)로 압축할 수 있다.

고효율 발전 기술로는 초임계(SC, Supercritical) 및 초초임계압(USC, Ultra-Supercritical) 기술, 석탄 가스화 복합 발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle) 기술, 차세대 초초임계 기술(A-USC, Advanced-USC), 암모니아 및 유기 랭킨 사이클과 같은 혁신적인 고효율 기술들이 있다.

본 고에서는 이러한 다양한 기술 중에서 현재 전 세계적으로 실증설비를 통한 기술개발이 적용되고 있는 IGCC, USC 및 순산소 연소(Oxy-PC) 기술 분야에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.



[그림 4] IGCC 공정도

#### 4. IGCC 기술

IGCC는 석탄, 중질잔유, 석탄을 고온·고압 하에서 가스화시켜 일산화탄소 및 수소가 주성분인 가스를 제조·정제한 후, 이것으로 가스터빈을 구동하고 배가스 열을 이용하여 증기터빈을 구동하는 고효율 발전기술이다.

IGCC 시스템은 기존의 석탄을 이용한 발전보다 효율이 높고 직접 연소 발전에 비해 황산화물 90% 이상, 질소산화물 75% 이상, 이산화탄소 25% 이상 (CO<sub>2</sub> 배출량 : 750~780g CO<sub>2</sub>/kWh) 저감할 수 있고 고형폐기물의 배출량 또한 50% 이하로 저감할 수 있는 장점이 있어 가장 환경친화적인 석탄발전 기술로 여겨지고 있다.

초기 투자비가 높고 설비구성이 복잡한 단점이 있으나, 발전연료가 석탄이라는 점에서 석유나 천연가스보다 가격이 저렴하고 석탄뿐만 아니라 폐기물, 바

이오매스, 잔사유 등의 적용이 가능한 장점이 있다.

기후변화협약 등 선진국의 환경규제 강화 추세와 개발도상국들의 전력수요 급증, 노후화된 기존 석탄 발전 설비의 대체 수요 등에 따라 IGCC 시장은 급격히 성장하여 2030년까지 전 세계적으로 100~400GW의 거대시장을 형성할 것으로 보인다.

IGCC 플랜트는 현재 전 세계적으로 14기(5기 상업 운전)가 운전 중이다. 중국(GreenGen), 호주(Zero-Gen) 및 미국(FutureGen)은 정부 지원 하에 IGCC와 CCS를 연계하는 프로젝트를 진행 중이며, 유럽 국가들은 IGCC 플랜트 건설에 집중하는 추세이다.

이런 가운데 우리나라도 산업통상자원부와 에너지 기술평가원이 전담하는 국책 기술개발 과제로 한국 서부발전이 총괄 주관을 맡아, 2016년 7월 실증운전을 거쳐 한국형 IGCC 표준모델을 개발하는 것을 목표로 진행하고 있다. 범국가적으로 추진되고 있는 이 과제에는 발전5사, 두산중공업·현대중공업 등 민간

기업, 고등기술연구원, 에너지기술연구원, 국내 주요 대학 등 총 20개 기관이 참여하고 있다.

IGCC 가스화공정은 향후 CCS, 차세대발전(IGFC 등 하이브리드 형태의 발전기술), CTL, 청정합성연료(DMS, SNG, 수소생산 등) 및 화학연료 생산 등 다양한 분야로 연계(확장) 가능한 미래 청정석탄 이용 분야의 핵심기술로 기계, 화학, 공조, 전기, 소재 등 산업전반의 종합 엔지니어링 플랜트로서 요소기술 및 플랜트 수출 산업화가 가능할 것으로 예상된다.

### 5. USC 기술

USC 기술은 고온, 고압 증기를 사용하여 기존 석탄화력 발전에 비해 효율향상과 용량을 증대시킨 고효율/대용량 발전기술을 말하며, 일본과 유럽의 독일 등 소수의 한정된 국가만이 핵심원천기술을 소유하고 있는 고부가가치 기술이다.

IGCC와 기타 신재생에너지 등 경쟁기술에 비해 건설비용, 전력생산 비용과 운영비 등 경제성과 발전 효율 측면에서 충분한 경쟁력을 확보하고 있다. 이에 따라 에너지 가격의 급등과 온실가스 배출 규제에 당면한 화력발전 산업에 있어 향후 20~30년 간 가장 현실적인 대안으로 판단되고 있다.

일본과 유럽은 정부 주도 혹은 국가연합 공동으로 1990년대 후반 RD&D를 통해 600℃급 USC 석탄화력 발전플랜트를 상용화하여 상업운전 중에 있다.

최근 해외에서 건설 중인 USC 발전소는 대부분 600℃이상, 1,000MW급으로 대용량, 고효율화를 추구하고 있다.

RD&D를 통해 600℃급 USC 기술의 상용화에 성공한 일본과 유럽 등 발전 선진국들은 이를 확대 적용해 CO<sub>2</sub> 배출을 줄이는 고효율 친환경 기술에 국가 기술역량을 집중하고 있으며, 최근에는 미국과 유럽을 중심으로 증기온도 700℃ 이상의 A-USC(Advanced Ultra Super Critical) 개발 프로그램들이 진행되고 있는 실정이다.

국내의 경우 현재 가동 중인 최고효율의 발전소는 500MW, 566℃/593℃급으로 2002년부터 2008년까지 6년에 걸쳐 정부지원 R&D를 통해 610℃급 USC 석탄화력 발전 설계기술을 개발 완료한 상태이며, 정부의 지원 아래 차세대 화력발전 용·복합 기술 개발과 실증플랜트 건설·운영을 통해 수출 전략형 1,000MW USC 석탄화력 발전플랜트의 상용화 개발이 진행 중에 있다.

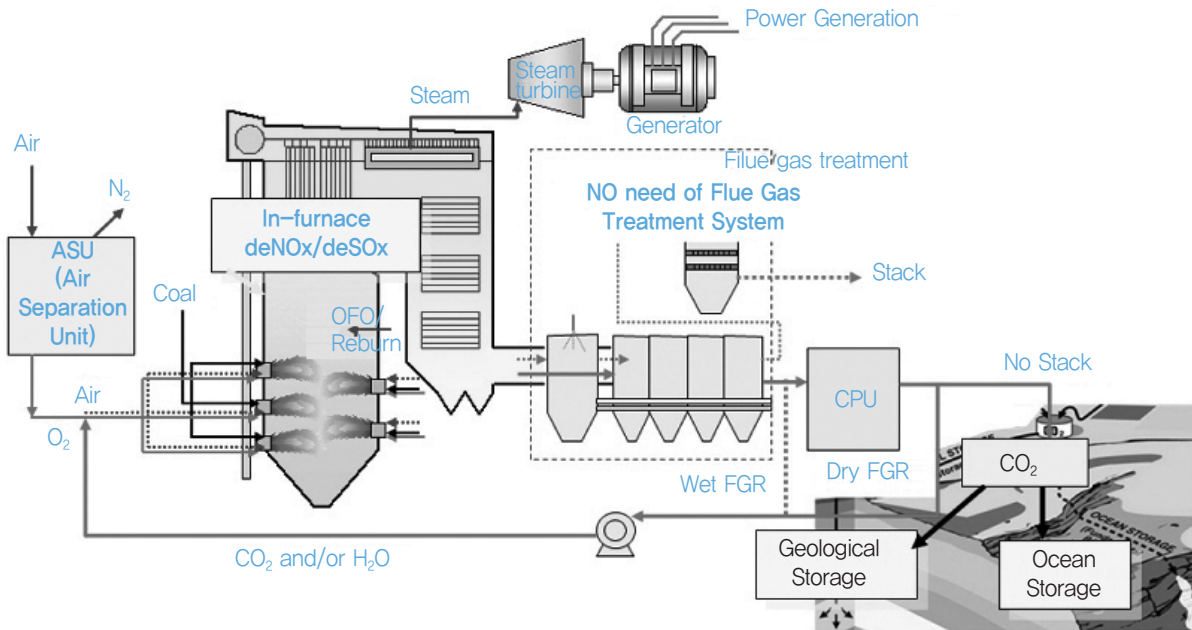
1,000MW USC 석탄화력 발전 기술은 일본, 유럽 등 발전 선진국의 발전 기술과 비교해도 동등 수준 이상의 발전 기술로 국내 석탄화력 발전 수준을 기술 종속국에서 기술 선도국으로 위상을 제고할 수 있는 기술이다. 특히 현재 상업운전되고 있는 외국의 600℃급 발전플랜트에 비해 발전효율과 용량 등 발전설비 운영의 경제성이 우수하고, 동시에 가격 및 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

[표 1] 1,000MW USC 발전효율 비교

발전소 명칭(국가)	용량 (MW)	증기조건(압력/주증기/재열증기) (kg/cm <sup>2</sup> /℃/℃)	Net Thermal Efficiency(%)
Tachibanawan #1, 2(일본)	1,050	256/600/610	42.1
Tanners Creek #4(미국)	580	246/538/552/566	39.8
Niederaussem K(독일)	1,000	278/580/600	42~43
USC 화력발전플랜트(한국)	1,000	265/610/621	Min, 44

※ 출처 : Power Clean R, D&D Thematic Network(EU)





[그림 5] IGCC 공정도

## 6. 순산소 연소(Oxy-PC) 기술

순산소 연소는 공기에서 질소를 분리해내고 순산소를 통해 연료를 연소한 뒤 이산화탄소와 수증기가 주성분인 배가스에서 수증기를 분리하여 이산화탄소를 회수하는 기술로, 이산화탄소 회수 기술의 3가지 분류 중에서 연소 중 포집 기술에 해당한다.

순산소 연소에 의한 이산화탄소 회수법은 기존 발전소에 적용이 가능하며, 2020년까지 상업 적용을 위해 기술 개발이 전 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다. 순산소 연소는 질소 분리를 위한 전력소모가 많고 발전효율을 약 10% 내외로 저하시키는 단점이 있는 것으로 알려져 있지만, 저등급의 연료를 사용할 수 있고 노내(연소실 내부) 탈황 및 탈질이 가능하여 후처리 설비를 위한 비용을 줄일 수 있으며 발전소 내 이산화탄소 회수를 위해 필요한 별도의 공간이 작은 장점을 가지고 있다.

현재 실증이 진행되고 있는 가장 큰 규모의 과제는 일본과 호주가 공동으로 호주에서 진행하고 있는 Cal-

lide A(30MW) 과제와 스웨덴 전력회사인 Vattenfall이 독일의 Schwarz-Pumpe에서 진행하고 있는 과제를 들 수 있다.

이들 과제는 모두 미분탄 보일러에 적용하는 과제이며, CFB 보일러에 적용하고자 하는 과제는 현재 스페인에서 CIUDEN 프로젝트로 계획하여 진행하고 있다. 국내에서도 순산소 연소를 통한 이산화탄소 회수 기술에 대하여 2006년부터 연구가 수행되었는데, 실증규모의 과제가 본격적으로 시작된 것은 2007년으로 한국남동발전에서 운영하고 있는 영동화력 1호기(125MW급)에 순산소 연소를 적용하기 위한 연구가 한전 전력연구원 및 한국남동발전을 중심으로 시작되었다.

순산소 연소 기술은 이산화탄소 회수에 있어 핵심적인 역할을 할 기술로 전 세계적으로 실증 및 상용화에 대한 검토가 진행되고 있다. 앞으로 이러한 추세는 계속될 것으로 보이며 2020년까지 상용화가 되어 이산화탄소의 대량 감축이 이루어지기 위해서는 이산화탄소의 저장소 확보, 저렴한 산소생산 기술 및


USC 석탄 화력발전을 포함한 고효율 발전 기술의 뒷받침이 필요할 것으로 보인다.

## 7. 맺음말

석탄화력 발전 기술은 기저부하용으로 지속적으로 수요가 증가될 것으로 전망되며 에너지 위기관리와 환경문제 해결을 위해 고효율, 친환경의 경제성을 갖춘 대용량화의 방향으로 기술개발이 진행될 전

망이다.

전 세계적인 기술개발 추세에 발맞춰 국내에서도 활발한 연구 및 실증사업이 진행되고 있으나 더욱 심화되는 경쟁구도 가운데 최신기술의 개발 및 특허경쟁력 면에서 해외 선진국에 비해 다소 낮은 것이 사실이다.

향후 보다 효율적인 기술을 통해 시장에 지속적으로 진입하기 위해서는 정책적인 뒷받침과 함께 관련 연구개발이 절대적으로 필요할 것으로 판단된다. 

## 참고문헌

1. World Coal Association(<http://www.worldcoal.org>), 2012
2. 에너지원별 전력 수요 전망 및 시사점(산업리스크 분석보고서, Vol. 2012-P-1), 한국수출입은행, 2012
3. 해외플랜트 수주 동향과 전망(산업동향 리포트), 한국정책금융공사, 2012
4. 차세대 화력발전 상용화 기술 개발(기획보고서), 지식경제부, 2008