

# 석탄발전 시장 동향 및 시사점

I. 석탄발전 시장 현황 .....	2
II. 석탄발전 기술 동향 .....	2
III. 정책금융기관의 석탄발전 지원 현황 및 국제 동향 .....	6
IV. 시사점 .....	9

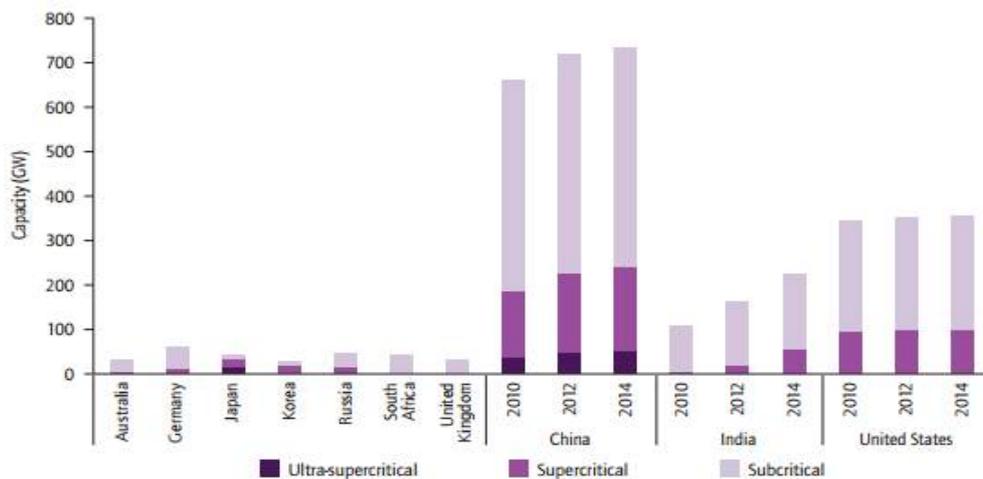
작성 : 책임연구원 이미혜 (3779-6656)  
mihyelee@koreaexim.go.kr

확인 : 실장 박동완 (3779-6670)  
dwpark@koreaexim.go.kr

## I. 석탄발전 시장 현황

- 석탄발전 설비용량은 2011년 1,739GW으로 세계 발전 설비용량의 약 32%를 차지하는 중요한 전원으로 2035년까지 1,182GW를 증설될 전망
  - 석탄은 화석연료 중 가장 매장량이 풍부하고 지역적으로 편재되어 있지 않아 공급안정성이 높고 경제성이 우수하나 탄소배출 등 환경문제가 존재
  - 선진국은 환경문제로 석탄발전소 증설이 둔화되나 원료비가 낮아 중국, 인도 등 개발도상국을 중심으로 성장
- 전세계 석탄발전 설비의 약 2/3가 아임계<sup>1)</sup>를 채택하고 있으나 환경보호를 위해 중국, 인도 등은 고효율 기술 도입을 일정 부분 의무화하고 있음
  - 중국은 12차 5개년 계획('11~'15)에 따라 600MW이상 발전소는 초임계압 또는 초초임계압을 사용해야 함
  - 인도는 12차 5개년 계획('12~'17)에 따라 신규 발전소 용량의 50~60%는 초임계압이어야하며, 13차 5개년 계획('17~'22)에 따르면 모든 신규 발전소는 최소 초임계압 이상의 기술을 채택해야 함

< 주요국 발전기술별 발전용량 >



자료 : Platts, IEA 자료 재인용

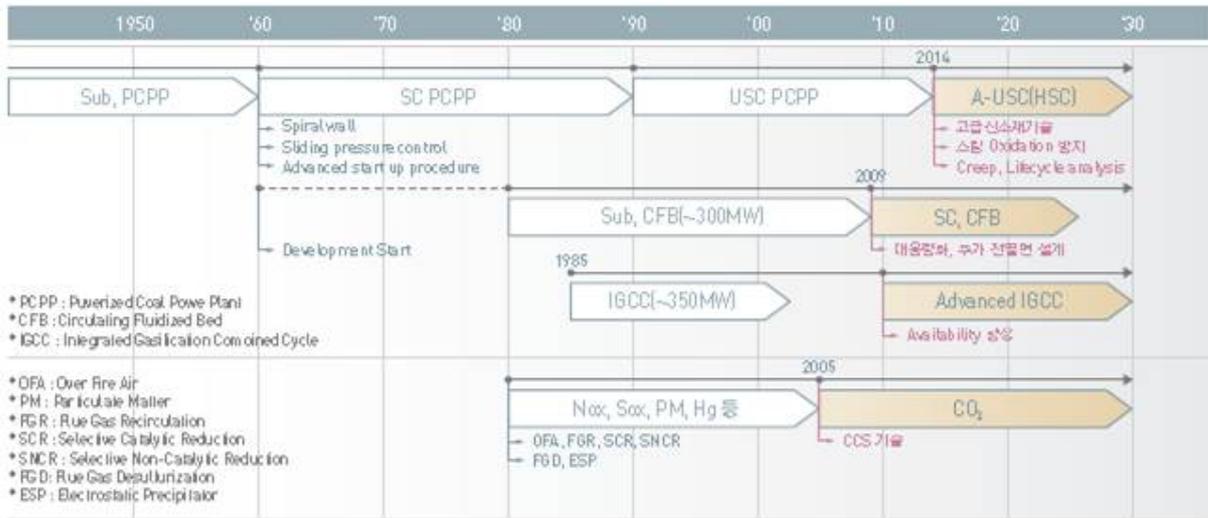
## II. 석탄발전 기술 동향

- 석탄발전은 연소 방식에 따라 미분탄 발전(Pulverized Coal Power Plant: PCPP)와 순환유동층 발전(Circulating Fluidised Bed: CFB)로 분류

1) 압력·온도에 따라 임계점(225kg/cm<sup>2</sup>, 374℃)을 기준으로 그 이하의 아임계압(Sub-critical), 그 이상의 초임계압(Super-critical)으로 구분되며, 압력·온도가 246kg/cm<sup>2</sup>, 593℃ 이상일 경우 초초임계압(Ultra Super Critical)으로 분류

- 미분탄발전은 매우 잘게 부순 석탄을 공기와 함께 버너에서 연소실내로 분사시켜 연소하는 방식
  - 순환유동층 발전은 미분탄 보일러와 달리 공기와 석회를 동시에 주입해 순환 연소시켜 질소산화물, 황산화물 등 오염물질 배출을 줄임
- 미분탄 발전은 압력·온도에 따라 아임계압(subcritical), 초임계압(Super critical), 초초임계압(ultra super critical)으로 발전하였으며 일부 선진국을 중심으로 A-USC(Advanced USC) 기술을 개발중
- 우리나라의 아임계압 및 초임계압 기술은 설계 및 제작분야에서 선진국과 동등한 수준
  - 초초임계압 기술은 일본은 1990년대말, 유럽은 2002년에 상용화를 시작
    - 일본은 석탄 화력 총 출력의 절반이상이 초초임계압을 사용하며 동 기술을 리드
    - 우리기업은 초초임계압 기술 개발후 실증사업을 추진중이며 기술수준은 설비 제작 설계 분야는 선진국 대비 80%, 제작분야는 90% 수준
    - 중국은 라이선스를 통해 초초임계압 설비를 제작하나 자국 판매 중심이며 2012년말 기준 총 46개 발전소를 운영중
  - A-USC 기술은 미국, 유럽, 일본 등을 중심으로 개발중이며 2020년 중반이후 실증플랜트가 운전될 것으로 예상
    - 미국, 유럽이 앞서 있고 일본은 다소 뒤쳐진 상황이며, 중국은 2010년부터 A-USC 보일러 개발을 추진중
- 순환유동층 발전은 아임계압 300MW급 보일러가 상용화되었으며 초임계압 초기 진입단계에 위치
- 저품질 석탄 등 다양한 연료 사용이 가능하며 가격은 미분탄보일러보다 15% 높지만 높은 효율, 상대적으로 낮은 건설비와 연료비의 장점 보유
  - Foster Wheeler(미), Alstom(프)가 시장을 선도하며 중국기업들도 자국내 저급탄을 활용하기 위해 활발히 사업에 참여
    - 두산중공업이 독일 AE&E렌체스 인수로 원천기술을 확보하고 독일에서 제작하며 현대중공업은중국에서 제작

## < 석탄화력발전의 신기술 개발 동향 >



주: A-USC = Advanced USC, HSC = Hyper Super critical

자료 : 2010년도 한국연소학회 제 40회 춘계학술대회

- 탄소 포집 및 저장 기술(Carbon capture & storage: CCS)은 CO<sub>2</sub>를 압축, 파이프라인 또는 선박을 이용하여 수송, 폐유전 등에 저장하는 기술로 발전, 철강, 시멘트 제조공정, 석유화학 등에 적용되며 '20년 이후 상용화가 예상됨'
  - 선두국가는 미국, 유럽, 캐나다, 호주 등이며 대형 CCS 프로젝트는 미국 9개, 유럽 2개, 캐나다 1개가 가동되고 있음
    - 8개 프로젝트는 이미 포집-수송-저장까지 전공정을 실운전중
  - 주요 사업자는 호주 광산회사 Rio Rinto, 독일 화학회사 BASF, 프랑스 전력회사 GDF Seuz, 미국 정유회사 Valero, 일본 건설회사 JGC 등
    - 두산중공업은 두산밥콕 인수('06년)를 통해 CCS 원천기술을 확보하였으며 KC그린홀딩스<sup>2)</sup>가 탄소 포집기술을 보유한 것으로 알려짐
    - 중부발전·대림산업·포스코건설·한국전력기술이 보령화력 10MW 실증사업에, 남부발전·KC코트렐 등이 하동화력 10MW 실증사업에 참여
  - 북미에서 전력분야 CCS 사업을 선도적으로 추진중이며 CCS 기술 적용시 CO<sub>2</sub> 배출량은 약 50% 감소하나 투자비는 약 70~80% 증가
    - 전력분야 세계 최초의 대규모 CCS 프로젝트인 Boundary Dam 프로젝트 (160MW, '14 상반기 가동 예정)를 추진
    - 높은 투자비로 인해 일부 지역에 제한적으로 도입될 것으로 예상

2) KC코트렐 모회사

**< 대형 CCS 프로젝트의 단계별 및 지역/국가별 프로젝트 수 >**

	파악	평가	설계	실행	가동	Total
미국	0	4	6	2	7	19
유럽	1	4	4	0	2	11
중국	6	2	4	0	0	12
캐나다	0	1	1	4	1	7
호주	0	3	0	1	0	4
중동	0	1	0	2	0	3
한국	1	1	0	0	0	2
남미	0	0	0	0	1	1

주: 1) 2014년 2월 기준

2) 한국은 2014년 이후 100MW급 CCS 실증사업을 추진할 계획

자료 : Global CCS Institute

**< 기술별 CCS 채택시 이산화탄소 배출량 >**

	CCS 미도입	CCS 도입
초임계(SC)	881g/kWh	379g/kWh
초초임계(USC)	743g/kWh	320g/kWh
A-USC	669g/kWh	288g/kWh

자료 : VBG, IEA

- **석탄가스화복합발전(Integrated Gasification Combined Cycle: IGCC)**  
기술은 석탄을 고온·고압하에서 가스화하여 가스터빈 및 증기터빈을 구동하며 기술 도입 단계
  - 주요 사업자는 미국 GE, ConocoPhillips, 영국 Shell, 독일 Uhde 등이며 다수기업들이 주도권을 잡기위해 서로 협조하며 사업을 추진
  - 두산중공업은 2006년부터 국내 300MW IGCC 실증 플랜트 건설을 위해 관련 설계기술을 개발하고 있으며 서부발전이 300MW급 IGCC 실증플랜트 사업을 태안에서 추진중

### III. 정책금융기관의 석탄발전 지원 현황 및 국제 동향

#### 1) 정책금융기관의 석탄발전 지원 현황

- 다자개발은행(MDB)와 OECD 수출신용기관(ECA)은 2007~2013년동안 석탄발전 프로젝트에 총 351.6억불을 지원
  - 다자개발은행(MDB)은 111.7억불을 지원하였으며 지원 규모는 World Bank Group<sup>3)</sup>은 53.9억불, 아프리카개발은행 28.4억불, 유럽투자은행 15.4억불, 아시아개발은행 7.9억불 순
    - World Bank는 2010년 남아공 석탄화력발전 프로젝트 이후 석탄화력발전 프로젝트를 지원하지 않음
  - OECD 국가의 ECA는 239.9억불을 지원하였으며 국가별 지원 규모는 일본 140억불, 독일 36억불, 미국 29억불, 한국 24억불, 프랑스 17억불 순
    - 단일 기관으로 일본국제협력은행이 동남아를 중심으로 세계 최대 규모를 지원
    - 미국 수출입은행의 포트폴리오에서 화석연료 프로젝트는 2번째로 큰 비중을 차지하며 사업별로는 발전(22.2억불)<sup>4)</sup>보다는 광산개발(50.2억불) 비중이 큼
    - 한국수출입은행은 19.2억불, K-sure는 5억불을 지원
  - 동 기간에 해외석탄사업(광산 포함)에 OECD ECA는 총 383.1억불, 중국 정책금융기관은 총 60.8억불을 지원

#### < 국제 정책금융기관의 석탄 프로젝트지원 현황('07~'13) >

단위 : 억불

	기 관	발 전	광 산	기 타	총 액
개발 은행	World Bank	53.9	0.9	10.6	65.4
	아프리카개발은행(AfDB)	28.4			28.4
	유럽투자은행(EIB)	15.4		0.4	15.8
	아시아개발은행(ADB)	7.9			7.9
	유럽개발은행(EBRD)	4.1	2.6		6.6
	미주개발은행(IDB)	2.0			2.0
	<b>개발은행 Total</b>	<b>111.7</b>	<b>3.5</b>	<b>11.0</b>	<b>126.1</b>
OECD 의 ECA	일본국제협력은행(JBIC)	74.6	42.2	2.2	119.0
	미국 수출입은행	22.2	50.2	-	72.4
	일본무역보험(NEXI)	48.0	2.0	2.9	52.8

3) 국제부흥개발은행(IBRD), 국제개발협회(IDA), 국제금융공사(IFC), 국제투자보증기구(MIGA), 국제투자분쟁해결본부(ICSID) 등 5개 기구로 구성

4) 인도 Sasan 프로젝트(3,900MW)에 9억불, 남아공 Kusile 프로젝트(4,800MW)에 8억불을 지원

	독일신용보험(Hermes)	29.4	3.6	-	33.1
	러시아개발은행(VEB)	0.0	25.0	0.0	25.0
	독일재건은행(KfW)	6.9	1.0	11.4	19.3
	한국수출입은행	19.2			19.2
	일본국제협력기구(JICA)	17.3			17.3
	프랑스무역보험(COFACE)	17.1			17.1
	K-sure	5.0			5.0
	FMO(네덜란드)	0.2		1.0	1.2
	UKEF(영국)	-	1.0		1.0
	노르딕투자은행(NIB)	-		0.7	0.7
	<b>ECA Total</b>	<b>239.9</b>	<b>125.0</b>	<b>18.2</b>	<b>383.1</b>
<b>Total</b>		<b>351.6</b>	<b>128.5</b>	<b>29.2</b>	<b>509.2</b>

주: K-sure의 금액은 추정치

자료 : Natural Resources Defense Council

## 2) 석탄화력발전 금융지원 관련 국제 동향

□ 2013년 6월, 오바마 대통령은 '기후변화 행동계획(Climate Action Plan)'을 통해 미국 정책금융기관의 해외 석탄화력 발전사업 지원 제한 및 국제 금융기관들이 동일한 조치를 취하도록 노력할 것임을 발표

- 이산화탄소 발생량 700g/kWh이상 모든 석탄화력 발전사업에 대해 미국 공적수출신용지원을 제한
  - 최빈국 사업으로 타 연료를 이용한 발전가능성이 없고 온실가스 배출을 최소화하기 위한 최적의 기술을 적용한 경우 지원 가능
  - 최빈국외에는 이산화탄소 포집 및 저장기술(CCS)을 적용하여 온실가스 발생량을 500g/kWh 수준으로 저감한 경우 지원 가능
  - 동 기준 적용시 가스복합과 신재생에너지외 대부분 석탄화력발전과 기준을 초과하는 유류발전에 대한 금융지원이 축소될 전망

### < 발전연료 및 기술별 이산화탄소 배출량 >

연료	발전방식	효율 (%)	이산화탄소 배출량 (gCO <sub>2</sub> /kWh)
석탄	초초임계	37.6~42.7	676~795
	초임계	35.9~38.3	756~836
	아임계	33.1~35.9	807~907
중유	중유발전	40~45	449-505
가스	가스발전	36~40	505~561
	가스복합화력발전	50.8	355

\* 이산화탄소배출량은 연료, 설비 등에 따라 달라질 수 있음

- 2013년 7월, World Bank는 'The Energy Sector Directions Paper'를 통해 석탄화력 발전 지원 축소 및 가스시장 발전 지원 계획을 발표
  - 신규 석탄화력발전은 기본적인 에너지 수요 충족 대안이 없으며 석탄화력발전소에 대한 자원 조달이 부족한 경우에 한하여 지원<sup>5)</sup>
  - 천연가스가 석탄발전을 대체할 것으로 예상하고 국가 및 지역 가스시장 발전을 지원
- 2013년 7월, World Bank에 이어 유럽투자은행(EIB)은 탄소배출기준(EPS: Emissions Performance Standard)를 수립하면서 대부분의 석탄화력발전소 신설 및 개조에 대한 지원 중단을 발표
  - 이산화탄소를 550g/kWh 이상 배출하는 화력발전 프로젝트에 대한 지원을 중단하며 석탄화력발전소는 바이오매스 혼소<sup>6)</sup>, 열병합발전 또는 CCS를 활용할 경우 자금지원을 받을 수 있음 (예외: 섬국가)
- 2013년 9월, 미국과 북유럽 5개국<sup>7)</sup>은 공동 성명서를 통해 정책금융기관의 해외 석탄화력발전 지원 중단에 동참하며 타 국가 및 MDB가 동 정책을 적용하도록 노력할 계획을 발표
- 2013년 12월, 유럽개발은행(EBRD)도 석탄화력발전에 대한 금융지원 축소를 결정
  - 지원을 받으려면 타 연료는 실행가능성이 없다는 것을 입증해야 하고 온실가스 배출을 최소화하기 위한 최선의 기술로 건립해야 하며, CCS 설비를 갖춰야만 함 (몽골은 가스와 원전이 없어 지원이 가능함)
- 2013년 12월, 미국수출입은행은 탄소집약사업에 대한 보완적 가이드라인(Supplemental Guidelines for High Carbon Intensity) 개정을 통해 석탄화력발전에 대한 공적수출지원을 제한
  - 예외적 지원 기준은 '기후변화 행동계획(Climate Action Plan)'과 동일
    - 미 의회는 최빈국에 대한 석탄화력 발전사업 지원제한을 '14년 9월까지 발효 중지한 상황
  - 석탄화력발전에만 제한을 두며, 석탄채굴 및 수출은 지원

5) 'Criteria for Screening Coal Projects under the Strategic Framework for development and Climate Change'가 적용됨

6) 석탄 화력발전소에서 석탄과 바이오매스를 함께 연소하는 것으로 바이오매스 발전소에 비해 낮은 자본비용, 고효율, 규모의 경제 실현 등의 장점을 보유

7) 덴마크, 핀란드, 아이슬란드, 노르웨이, 스웨덴

#### IV. 시사점

- 미국은 탄소배출 규제에 소극적인 모습을 보였으나, 셰일가스 개발로 국내 가스발전이 확대되고 2017년이후 천연가스 순수출국으로 전환되며 세계적인 가스 발전설비 회사를 보유한 것이 입장 변화의 주요 요인으로 보임
- 국제공조로 CO<sub>2</sub> 배출기준 규제가 확대될 경우 아직 기술경쟁력을 갖추지 못한 국내 발전설비 기업들은 매출에 상당한 타격이 예상되며, 석탄 발전에서 가스발전으로 전환이 가속화될 전망
  - 국내 석탄화력 발전설비 기술은 선진국과 중국사이에 위치하고 선진국과 10년 이상의 격차가 존재하며 초초임계압 부분은 실증사업 단계
  - 가스터빈은 라이선스를 통해 제작하며 신재생에너지는 기술을 보유한 선진국과 가격 경쟁력을 갖춘 중국이 시장지배력을 확대하고 있음
- 국제 공조가 확산되면 석탄화력발전지원 비중이 높은 아시아개발은행 등의 지원 규모가 축소될 가능성이 있으므로 이에 대한 모니터링이 필요함
  - 2013년 10월, 미국은 MDB의 석탄화력발전 지원에 대해 반대 의사를 표명할 것을 밝히고 2013년 12월, 아시아개발은행 이사회에 파키스탄 석탄화력발전소 지원 안건이 상정되자 미국은 반대표를 행사
    - 동 프로젝트는 타 그룹 이사들의 찬성으로 지원이 결정되었으나 향후 미국과 이에 동조하는 국가들이 반대표를 행사할 가능성이 높음