



# 노후 500MW급 석탄화력 수명연장 및 성능향상 기술개발



나 충 하  
한국중부발전(주) 발전처 안전운영팀 차장

## 1. 개 황

차세대 발전시스템 개발 추세는 대용량 고효율화 및 친환경 설비로 요약된다.

최근 들어 석탄화력발전소의 연료수급 불안정이나,

CO<sub>2</sub> 배출 등의 문제점으로 인해 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지와 같은 대체에너지 개발에 많은 연구와 투자가 이루어지고 있다. 하지만 이 또한 신규부지확보 곤란, 연료비 상승, 대용량화의 한계 등으로 인해 많은 어려움을 겪고 있다.

현재 국내 화력발전소의 주 연료로 사용되는 유연탄은 중국, 호주, 인도네시아 등을 통해 연간 약 6,500만톤 이상 수입되고 있다. 특히, 중국 경제의 급성장으로 인한 석탄수요 증가와 세계 석탄시장 여건 등으로 인해 과거와 같이 양질의 석탄을 안정적이고 경제적으로 수급하는 것이 점점 어려워지고 있다. 이러한 국내·외 석탄 수급 상황을 고려할 때 향후에는 발전설비 설계조건에 적합한 석탄을 수입하기가 매우 어려워질 것으로 예상되며, 기존에는 고려하지 않았던 저급탄 사용량을 확대해야 하는 불가피한 상황에 놓이게 될 수밖에 없다.

따라서 국내 대부분의 미분탄 보일러(500MW급 표준 석탄화력)는 고열량탄인 역청탄(5,700kcal/kg 이상)을 주 연료로 사용하고 있어, 보다 낮은 발열량을 지닌 아역청탄 및 갈탄 등(5,000kcal/kg 내외)의 저품위탄을 높은 혼소율 조건에서 안정적으로 연소할 수 있는 기술 개발이 절실하다.

국내 석탄화력발전의 경우 전체 전력공급량의 30% 이상을 점유하고 있으나, 주력설비인 20여기의 500MW급 대용량 표준 석탄화력발전소들은 1990년대에 건설되어 설비수명 노후기에 접어들고 있다. 또한, 고열량탄 수급의 어려움, 온실가스 감축 의무화, 신규전원 확충을 위한 건설부지 확보 곤란 등의 문제에 직면하고 있다.

이러한 관점에서 볼 때 단기간에 저비용으로 온실가스 감축에 기여하고, 신규전원 확충에 상응하는 전력을 확보하기 위해서는 노후 발전설비의 성능개선을 통한 효율 향상 및 출력증대를 꾀하는 것이 현실적이고 경제적인 대안이다.

현재까지 성능개선 시장은 국내업체의 기술수준 및 실증 검증 등의 부족으로 해외 메이저 업체들의 기술력에 의해 좌우되었다. 향후, 국·내외 발전설비 성능개선

시장의 급성장이 전망됨에 따라 국내업체의 성능개선 기술자립이 시급한 상황이다.

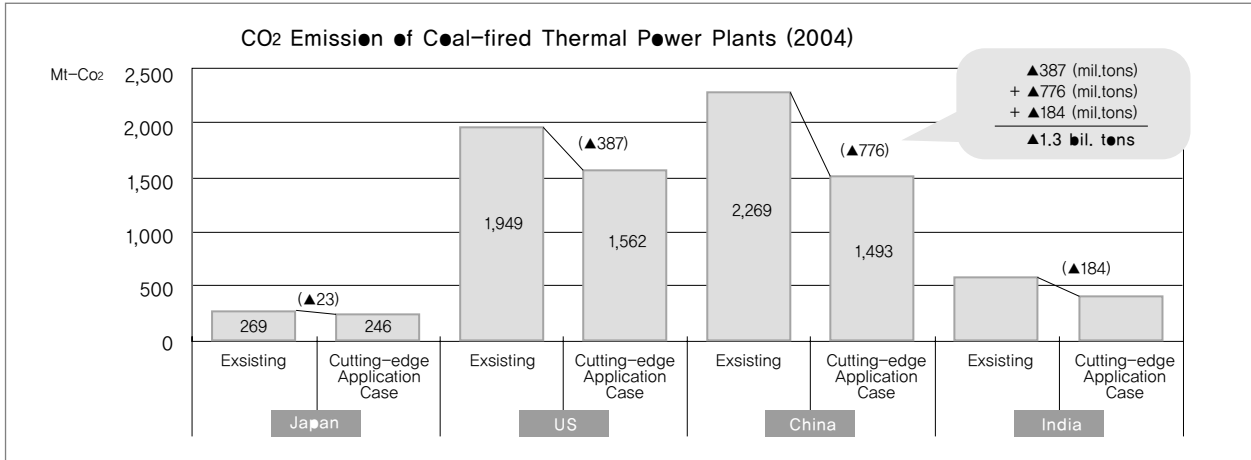
## 2. 현황

### 가. 국내·외 성능개선 기술개발 동향

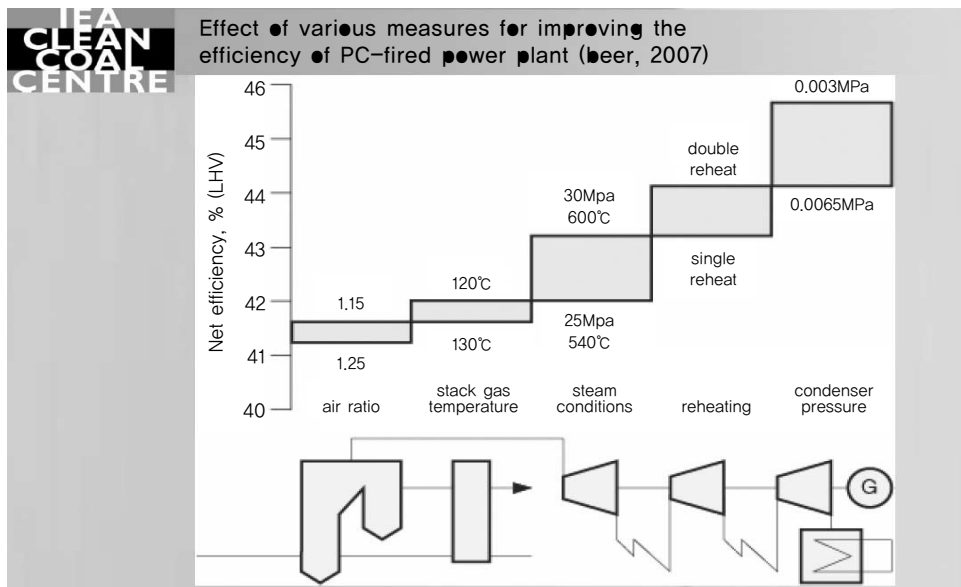
국내의 경우 D사는 초기에 미국 GE사로 부터 기술을 전수받아 지금까지 원자력 및 표준석탄화력 500MW 터빈 24기를 설계 및 공급하였으나 동일 사양의 반복으로 인해 기술적인 도약은 기대하기 어려운 실정이었다. 최근 환경 문제 등으로 고효율의 증기터빈이 가속화 되면서 정부의 적극적인 지원 하에 'USC의 요소기술 개발' 및 '최종단 핵심부품 기술 개발'을 통해 독자적인 Model 확보를 추진하고 있다.

800MW 및 New 500MW USC 화력터빈 설계 및 공급, 대용량 증기터빈 성능개선 기술 개발 등 정부지원의 각종 연구 과제를 통해 핵심품목의 요소기술은 상당 수준에 도달하였다. 하지만 기존설비의 제약조건에 맞춘 설계가 요구되는 성능향상 기술과 경험부족 등으로 성능개선 기술이 제약된 범위의 원형변경 수준이었다. 완전한 기술자립을 위해 핵심기술인 성능향상 기술 및 신뢰성 확보기술의 자체 개발에 많은 노력을 기울이고 있으나, 해외 선진업체들의 기술이전 회피 및 실증검증 경험부족 등의 한계를 절실히 느끼고 있다.

해외의 경우 장기 운전설비의 단위 부품에 대한 고효율화를 위하여 미국의 GE, 유럽의 Alstom 및 Siemens 등 선진국을 중심으로 설비개선이 활성화 되고 있으며, 저효율 노후 발전설비의 녹색화 사업으로 USC 등의 최신 기술에 의한 성능향상을 통하여 고효율화와 CO<sub>2</sub> 절감 사업을 진행 중에 있다(그림 1 참조).



[그림 1] 화력발전소의 효율향상 전망  
(World Energy Outlook 2008)



[그림 2] 효율향상 방안

미국의 GE는 국내 표준석탄화력 500MW 및 표준 원자력 1000MW의 원천기술 보유사로 많은 모델을 국내 D사와 공동으로 공급하였으며, 다양한 용량의 모델을 바탕으로 개발된 모델의 성능향상과 신기술을 지속적으로 제품에 응용하고 있는 증기터빈 발전기분야의 선두 기업이다. 성능개선 시장에서의 연간 매출은 전체의 29%를 차지하고 있으며, 최근 노후설비의 성능개선 및 USC 신규시장에 사활을 걸고 시장진입을 확대하고 있으며,

향후 국내 성능개선 시장이 형성될 경우 강력한 시장 지배력을 가진 위협적인 기업이라고 할 수 있다.

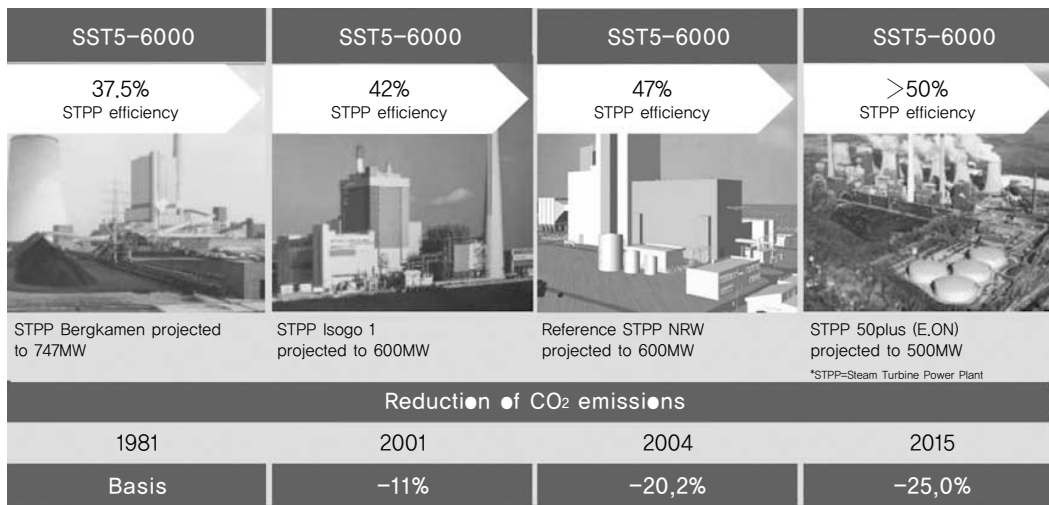
다국적 기업인 프랑스의 Alstom은 M&A과정을 거치면서 획득된 다양한 기술을 활용하여 노후설비의 Spare Part 및 성능개선 시장에서 세계 1위(41%)를 점유할 정도로 다양한 Service Portfolio를 구성하고 있으며, 서비스부문 연간 매출규모는 전체 시장의 30%를 차지하고 있다. 국내시장에도 1980년대 초반까지 고리원자력

1~4호기 및 화력설비의 다양한 터빈을 공급하였고 2005년에 영광1,2호기의 성능개선 수주 및 보령1,2호기 성능개선에도 제안서를 제출하는 등 국내 성능개선 시장의 진출 가능성이 매우 높은 기업이라고 할 수 있다.

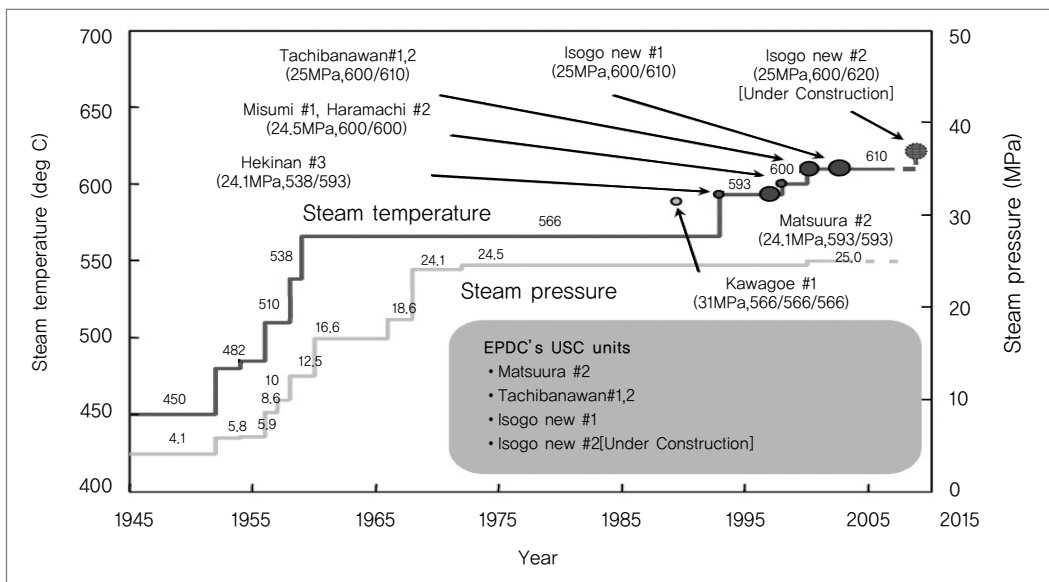
독일의 Siemens는 1950년대부터 초임계압 발전소를 건설하였으며, 효율향상에 지대한 관심을 가지고 기술 개발을 수행하여 주증기온도 700℃에서 50% 이상의 플랜트 효율을 가진 발전소를 2014년까지 건설할 계획

이다. 국내 고리원자력1~4호기의 저압터빈 성능개선을 1997년도에 수행하였고, 특히 1980년대부터 유럽 각국의 연구기관과 공동으로 효율향상을 위한 연구에 많은 투자를 하고 있다(그림 3 참조).

일본 3사(Mitsubishi, Hitachi, Toshiba)의 경우 정부의 적극적인 지원으로 USC 및 성능향상의 핵심기술을 확보 하고 있으며, 국내 대형 노후설비의 시장진입을 노리고 있다.



[그림 3] Siemens사의 기술개발 이력



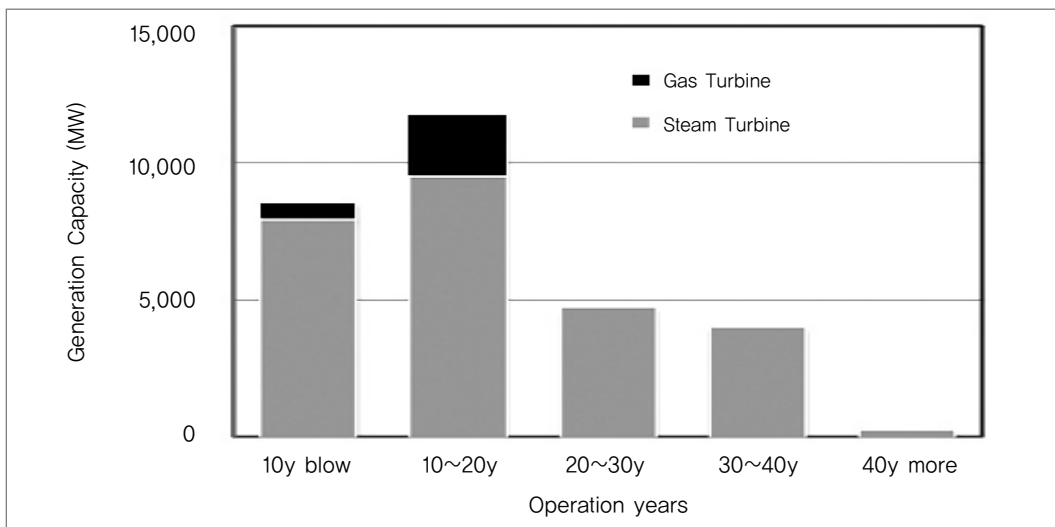
[그림 4] 일본의 증기온도 향상 이력

핵심기술 개발은 2차레의 오일쇼크 이후 에너지효율을 높이기 위한 연구가 시작된 이래, 화력발전소의 환경 문제가 세계적인 이슈로 대두됨에 따라 이산화탄소 저감 문제가 추가되면서 더욱 활발한 연구가 진행되고 있다 (그림 4 참조).

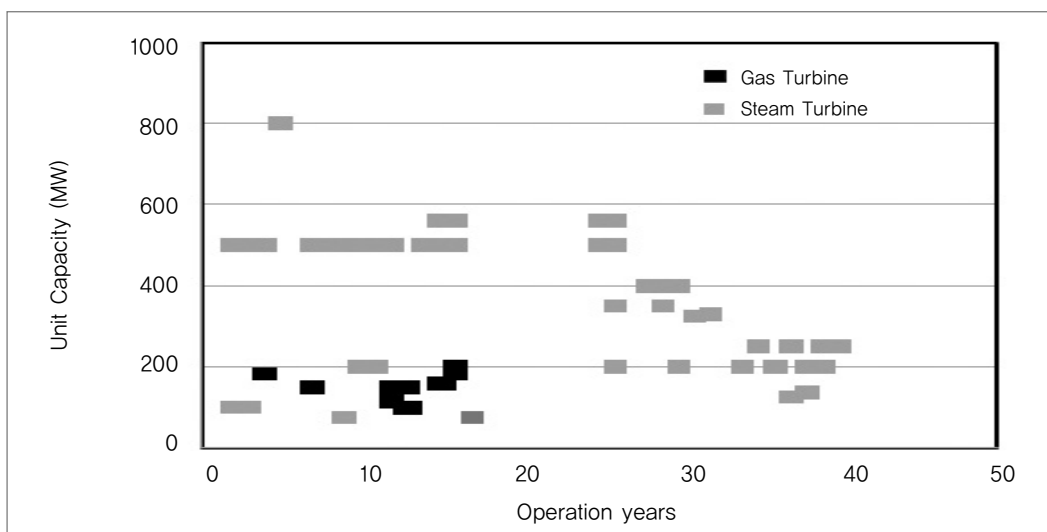
**나. 국내 · 외 성능개선 시장 규모**

국내의 화력발전설비 91기 중 약 30%에 해당하는 30여기가 25년 이상 운전되고 있으며, 설비의 사용 경과

년수 20년 이상이 24%에 달해 향후 5년 후에는 약 33%가 노후화로 수명연장이나 성능개선을 시행할 예정이다. 최근 몇 년 동안 이상 기온 등으로 전력수요가 급증하고 있어 부족한 전원 확충이 시급한 현실이다. 따라서 단기간에 에너지 부족을 해소하고 온실가스 배출량을 저감하기 위해서는 신규 건설비용보다 30% 정도 저렴한 비용으로 노후화된 석탄화력의 출력증대와 효율을 향상시킨 고효율 발전시스템으로 개량하는 것이 현실적인 대안이 될 수 있을 것이다(그림 5, 6 참조).



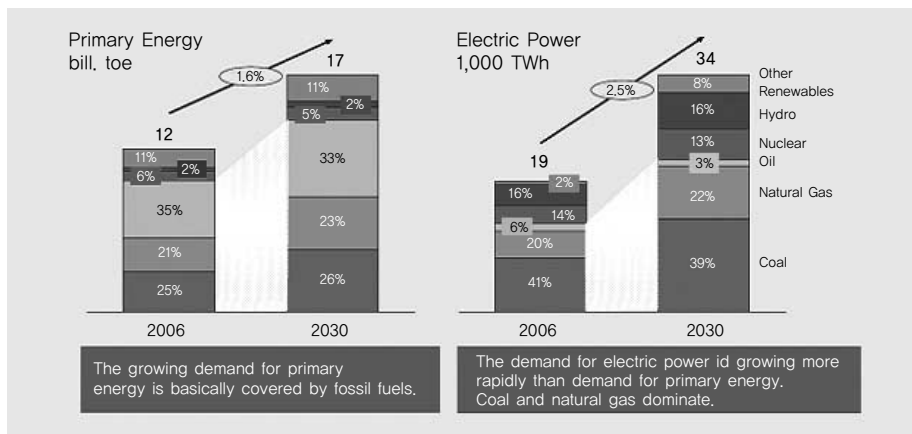
[그림 5] 국내 화력설비의 경년 현황



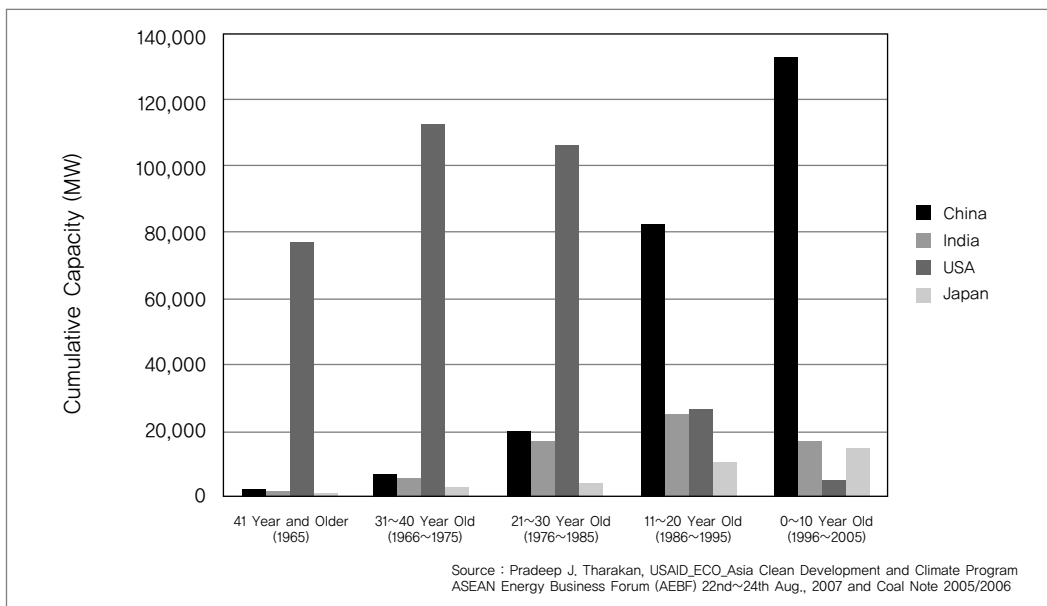
[그림 6] 국내 화력발전설비의 용량별 경년 현황

해외시장은 선진국의 전력수요 정체에도 불구하고 중국, 인도를 포함한 동남아 개도국들의 경제성장에 따라 2030년까지 전력수요가 지속적으로 성장할 것으로 예상된다. 또한 지구온난화에 대응한 신재생에너지 증가에도 불구하고 2030년에 전력생산의 39%를 석탄화력이 차지하면서 가장 중요한 에너지 생산설비로 남게 될 전망이다. 따라서 전 세계 발전설비의 20%(500GW)의 설비가 30년 이상 사용되어 향후 발전설비의 성능개선 시장이 급성장 할 것으로 예상되고 있다(그림 7 참조).

OECD 국가는 2030년까지 약 2,000GW 규모의 신규발전 설비가 요구되는데, 그 중 1/3 이상은 기존 노후 발전설비의 성능개선분에 해당된다. 특히, 미국의 경우 2025년까지 신규 및 성능개선에 의한 발전시장 규모가 371GW에 달할 전망이다. 따라서 선진국 위주의 노후설비 교체까지 고려할 때 세계 석탄화력발전 설비의 연간 전체 발주 물량은 120GW 이상이 될 것으로 예상된다 (그림 8 참조).



[그림 7] 전력수요의 전망 및 연료별 점유율 (IEA World Energy Outlook 2006)



[그림 8] 주요 국가 발전설비의 경년 현황

[표 1] 국내 노후 500MW급 석탄화력 수명연장 및 성능향상 기술개발 개요

과 제 명	노후 500MW급 석탄화력 수명연장 및 성능향상 기술개발
목 표	노후발전설비의 출력증강 및 저품위탄 사용을 위한 모듈 구축 (발전용량 증대 10% 이상, 플랜트효율 2% 향상, CO <sub>2</sub> 배출량 저감 5% 저감)
기 간	2011. 7 ~ 2015. 6(48개월, 1,2단계)
내 용	노후설비 출력증강을 위한 시스템 통합 및 보일러 연소 최적화 기술
참여기관	두산중공업(기술개발), 발전 5사(실증사업), 전력연구원 및 위탁기관
비 용	380억 원(기금지원 185억 원, 민간 195억 원)

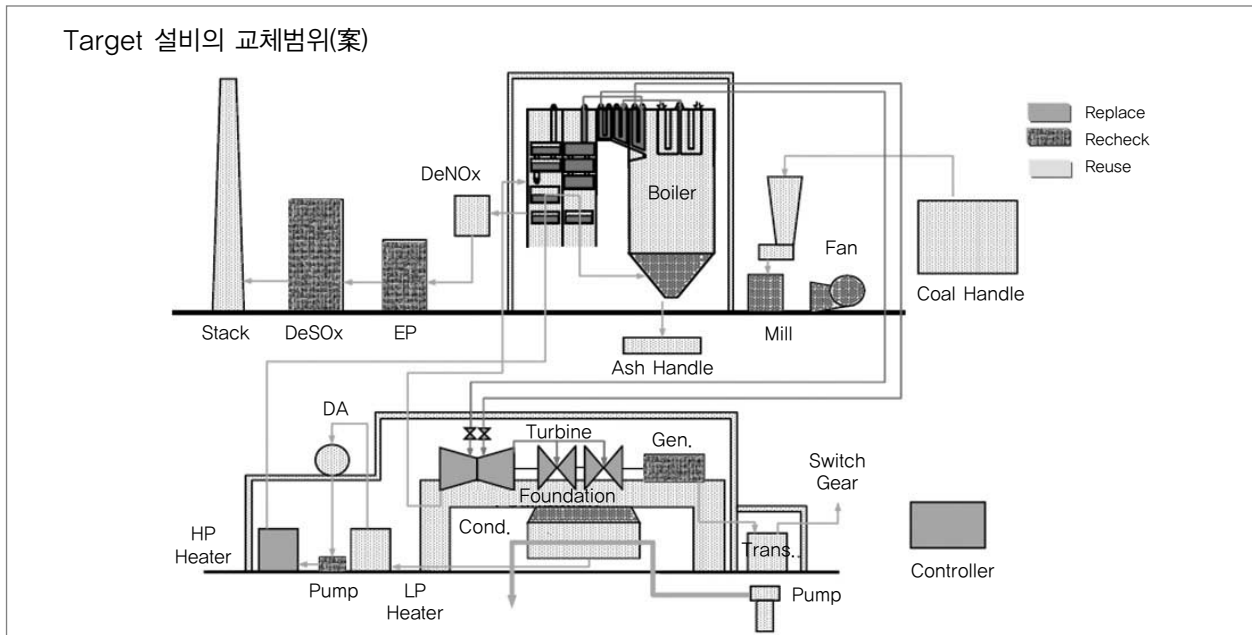
### 3. 국내 기술개발 현황

국내 발전산업의 경우 신규건설 부지 확보 곤란, 고열량탄 수급의 어려움, 온실가스 배출 감축 등 현안 문제에 직면해 있다.

또한, 국내 전력생산의 중추적 역할을 담당하고 있는 20여기의 500MW급 표준석탄화력의 노후화에 따른 중·장기적 대안 마련이 필요한 시점이다. 이를 위해 정부주도 연구개발 사업으로 발전 5사, 두산중공업, 전력

연구원 등 산·학·연 공동으로 ‘노후 500MW급 석탄화력 수명연장 및 성능향상 기술개발’ 과제를 진행 중에 있다.

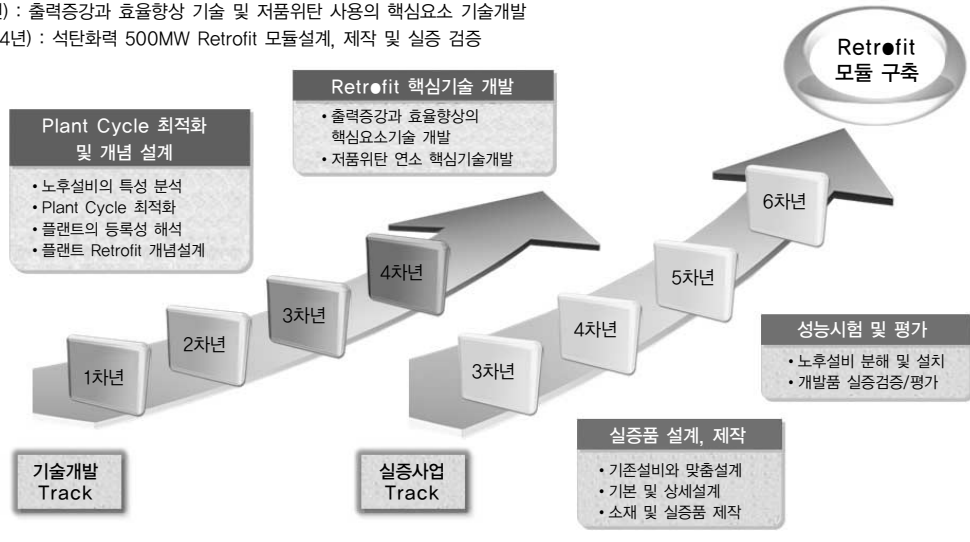
주요 개발내용은 표준 석탄화력 설계용량 대비 출력 10% 이상 증대(500MW→550MW), 플랜트 효율 2% 증가 (40%→42%), 이산화탄소 배출량 5% 이상 저감, 연소 범위탄 최저열량 하향(5,400→5,000kcal/kg) 등을 목표로 하고 있다(표 1 참조).



[그림 9] 성능개선 범위

기술개발 SCHEME

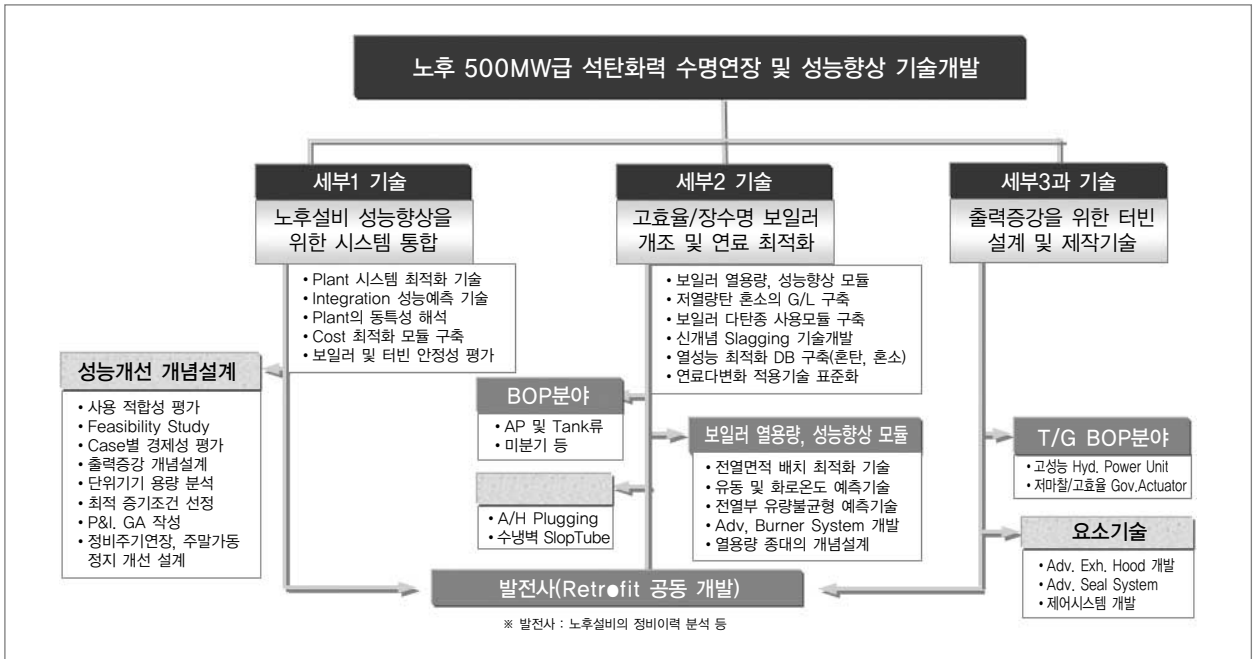
- ◎ 1단계(2년) : Plant Cycle 최적화 및 플랜트 Retrofit 개념 설계
- ◎ 2단계(2년) : 출력증강과 효율향상 기술 및 저품위탄 사용의 핵심요소 기술개발
- ◎ 실증사업(4년) : 석탄화력 500MW Retrofit 모듈설계, 제작 및 실증 검증



[그림 10] 기술개발 추진 단계

성능개선 주요범위는 저급탄 연소를 위한 보일러 수냉벽 튜브 코팅, 주·재열증기 온도 상승에 따른 과·재열기 및 주요배관 교체, 고효율 증기터빈 적용 등이며,

환경설비, 연소설비 및 발전기 등은 기존 설비개선을 통한 성능향상을 수행할 예정이다(그림 9 참조). 연구개발 추진 단계는 기술개발과 실증사업으로 구분



[그림 11] 노후 석탄화력 500MW급 Retrofit 기술개발 과제 구성



하여 추진 중이며, 기술개발 단계에서 최적의 성능향상 모델이 도출되면 발전사가 실증사업에 참여하는 형태로 추진된다.

기술개발 구성은 핵심기술인 세부 1,2,3 과제로 나누어 산·학·연 공동으로 추진하고 있으며, 선행 개발된 연구 과제(USC의 고온특성 관련 기술, 대용량 증기터빈 성능 개선 기술, 통합제어 시스템 기술)와 연계하여 기술개발을 진행하고 있다(그림 10, 11 참조).

#### 4. 향후 계획

본 개발과제를 통해 성능개선의 핵심기술을 1단계에서 확보하고, 2단계에서 실증검증을 위한 시제품 설계 및 제작을 통해 노후 500MW급 표준 석탄화력에 적용 후 실증검증을 수행할 계획이다.

향후, 출력증강 및 효율향상 모듈의 검증이 성공적으로 수행되면 국내 표준 석탄화력발전기들의 수명연장 및 성능개선 사업에 있어 롤 모델을 제시하게 될 것이다. 또한, 개발한 기술을 지속적으로 보완하고 최적화하여 해외 선진업체들로부터 국내시장을 수성하고, 전략 모델을 최적화하여 해외시장 진출을 위한 교두보를 확보할 계획이다. KEA