



# 미국의 최신 발전기술 개발동향

박 형 실 한국전력공사 뉴욕지사 부장

본 보고서는 미 에너지성이 추진중에 있는 석탄 및 천연가스 이용 최신 발전시스템에 대한 연구개발 동향을 정리한 것으로, 향후 우리나라 발전시스템의 연구개발 방향 및 신기술 도입시 도움이 될 것으로 판단되어 소개한다.



## 1. 배경

미국이 21세기에든 경제성장을 지속시키기 위해서는 에너지 이용효율을 높이지 않으면 안된다. 대부분의 미국인들은 에너지효율을 향상시키는 문제에 있어서 최종에너지 사용측면만 고려하고 있으며, 연료사이클 특히 발전부문의 효율향상에 대해서는 등한시하는 경향이 있다. 미국에서 사용되는 전체 에너지의 1/3 이상이 전력이며, 전력생산량의 1/2 이상이 석탄을 연료로 사용하고 있다.

현재 33% 수준인 석탄발전소의 평균 효율을 50%까지 향상시킬 경우, 연료절감 효과는 18억개의 백열전구 (Light Bulb)를 에너지 절감용 형광등 (Fluorescent Bulb)으로 교체하는 효과와 같다. 또한 높은 효율은 우수한 환경특성을 지니고 있으므로, 고효율 발전소는 공해물질의 배출을 감소시킨다.

현재 기술수준과 비교할 경우, 효율이 50%인 석탄화력 발전소의 경우 이산화탄소는 약 40%, 고체폐기물은 1/3이 적게 배출된다.

더욱이 이러한 고효율 발전소가 최근 급속하게 발전하고 있는 환경기술 개발과 결합될 경우 산성비를 내리게 하는 각종 공해물질의 배출을 감소시킨다. 미국 에너지성(Department of Energy : DOE)이 추진중인 화석에너지 프로그램에 의하면 21세기 초에는 현재 배출량보다 이산화황 및 비회(Fly Ash)는 99%, 질소산화물은 90%, 이산화탄소는 40~47%, 고체폐기물은 40~50%가 감소되며, 발전 원가는 10~20%의 절감이 가능하다.

## 2. 석탄 청정화 기술

### 가. 저-배출물 보일러 시스템 (Low-Emission Boiler Systems)

이 시스템은 현재의 미분탄 형식 석탄보일러에 최신 연소 및 배기가스 클리닝 시스템을 응용하여 배출물 수준을 낮추는 것이다. 최신 기술을 발전소 건설후에 추가하기보다는 당초 기술과 결합함으로써, 고효율, 저공해 및 저원가 발전소 건설이 가능하게 된다. 이러한 시스템의 효율은 그림 1과 같이 42~44%에 도달할 것으로 예상된다.

### 나. 가압식 유동층연소 (Pressurized Fluidized Bed Combustion)

보일러 내부의 유황을 흡수할 수 있는 최신 기술이다. 즉 보일러 내부에서 석탄입자를 효과적으로 혼합하여 연소가스의 온도를 낮춤으로써, 질소 공해물질의 생성을 억제한다. 보일러 압력을 가압하여 가스터빈 운전에 필요한 고압가스를 공급하며, 보일러에서 발생된 증기로 증기터빈을 구동시킨다. 이러한 복합사이클의 효율은 50% 이상이 될 것이다.

### 다. 가스화 복합화력 (Integrated Gasification Combined Cycle)

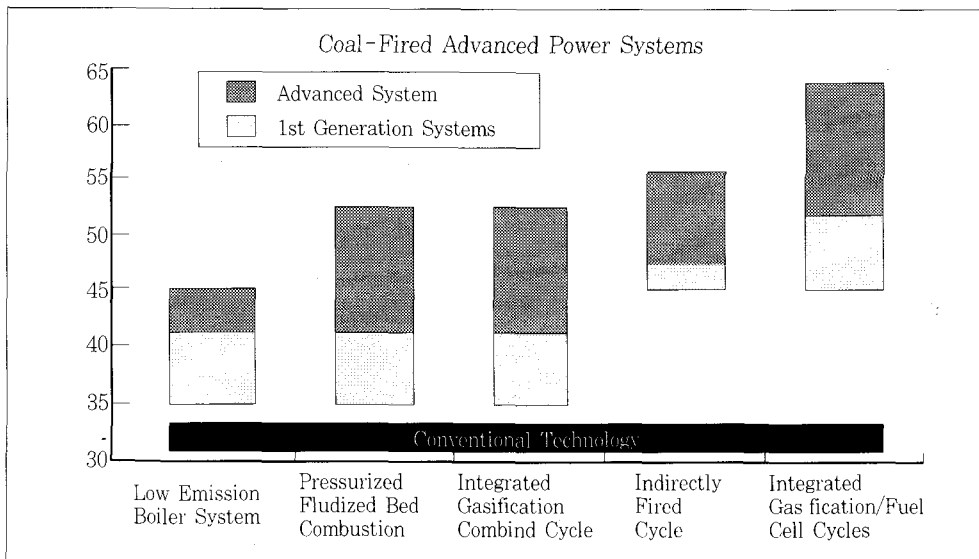
기존의 연소기(Combustor) 대신에 석탄가스화를 이용하여 최신 가스터빈과 조합시킨 시스템이다. 가스 클리닝 시스템에서 석탄가스에 함유된 유황 및 재는 99%, 질소공해물은 90% 이상 제거된다. 석탄가스는 가스터빈에서 연소된 후 증기터빈에서 필요한 증기를 생산하기 위해 배열회수 보일러로 회수되어진다. 이러한 최신 시스템의 효율은 52%까지 올라갈 것으로 예상된다.

### 라. 간접식 연소사이클 (Indirectly Fired Cycles)

석탄 연소기에서 발생된 고온가스가 가스터빈과 직접 접촉하지 않는 새로운 시스템이다. 고온가스는 터빈을 구동시키는데 필요한 작동유체(Working Fluid)를 가열한다. 일부형식은 고온로(High-temperature Furnace)를 사용하며, 또 다른 형식은 세라믹 열교환기(Ceramic Heat Exchanger)를 채택하고 있다. 이 시스템은 장기적으로 볼 때 효율이 55%까지 올라갈 것으로 예상된다.

### 마. 가스화-연료전지 복합발전 (Gasification-Fuel Combinations)

연료전지는 매우 청정한 에너지로서 효율이 매우 높다. 연료전지는 대부분 수소함유 전지로 운전되며, 향후 발전소는 석탄가스화를 연료전지와 결합한 복합발전 형식이 될 것이다. 화석에너지 프로그램은 고온가스 클리닝 시스템을 갖춘 천연가스를 사용하여 연료전지를 개발하고 있다. 순수 전력생산시 효율은 60%가 되나, 열병합 발전소에 적용할 경우 85%까지 올라간다.



〈그림 1〉 석탄연소 차세대 발전시스템

### 3. 천연가스 이용기술

#### 가. 기술개발 개요

천연가스는 전력부문에 있어서 아주 큰 역할을 담당하고 있다. 2010년까지 전력용 천연가스 수요성장률은 약 50%가 될 것으로 예상된다. 가스연소 발전시스템, 특히 복합사이클 시스템은 다른 대체시스템보다 효율이 높으며 투자비가 적다. 또한 동 시스템은 연료부문을 제외하고는 운전비용이 낮으며, 소규모 및 경제적인 규모를 가진 발전소를 건설할 수가 있다.

천연가스 사용 발전소는 이산화황 또는 분진을 전혀 발생시키지 않으며, 타 화석연료보다 이산화질소, 일산화탄소 및 반응 수소탄소를 훨씬 적게 배출한다. 이외에도 천연가스는 타 화석연료보다 이산화탄소를 적게 발생시키므로 천연가스의 사용량 증가는 지구온난화 방지에도 기여하게 된다. 미국 에너지성의 연구개발계획에 의하면 천연가스 사용 최신행 발전기술의 연구개발 내용은 다음과 같다.

##### (1) 최신 가스터빈

최신행 가스터빈 시스템은 향후 전력공급에 있어서 매우 중요한 역할을 담당할 것이다. 현재부터 2010년까지 건설되는 신규발전소 용량의 50% 이상이 가스터빈을 이용할 것으로 전망된다. 미국 에너지성의 화석에너지 프로그램은 현재 운전온도의 한계치를 극복할 수 있는 고효율, 초-청정(Ultraclean)가스터빈 개발에 그 주안점을 두고 있다. 2000년도에 최초의 상업용 모델이 개발되면, 최신 가스터빈은 발전소의 효율을 현재보다 15%가 높은 60%까지 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

##### (2) 연료전지

장기간 운전기간중 무소음, 무공해 에너지원인 연료전지는 전력회사의 새로운 발전원이 될 수 있다. 연료전지는 연소과정을 거치지 않고 전자화학적 반응에 의해 전력을 생산하므로, 이 시스템은 전력산업에 있어서 가장 청정한 발전원이 될 것이다. 화석에너지 프로그램은 고온 및 고효율 연료전지 기술을 개발하고 있다. 용융탄산염(Molten Carbonate) 기술은 Santa Clara(CA주 소재) 시영 전력사에서 최초 상업용 발전

소로 시운전중에 있으며, San Diego(CA주 소재)에서는 열병합발전용으로 응용되고 있다. 고형산화물(Solid Oxide) 연료전지는 1990년대 후반 및 21세기 상용화를 위해 현재 개발중에 있다.

#### 나. 연구개발의 필요성

미국 에너지성이 21세기에 천연가스 사용기술의 연구개발에 최우선을 두고 있는 이유는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 전력공급 전략으로서 분산형 전원의 출현은 천연가스 사용기술에 적합한 규모의 발전소 건설을 촉진시킬 것이다.

- 향후 15년 동안 건설되는 신규발전소의 절반 이상은 가스터빈 시스템을 채택하게 될 것이다.

- 새로운 공해물질 배출규제치 준수를 요구하고 있는 1990년 개정 대기정화법(Clean Air Act of Amendment)으로 인하여, 발전사업자는 천연가스를 더 많이 사용할 것이다.

- 천연가스 사용 발전소는 모듈화 유닛(Modular Unit)으로 건설될 수 있고, 고객의 전력수요 성장에 맞추어 단계적으로 증설될 수 있다.

- 연료전지를 포함한 향후 고효율 가스기술은 기존 재래식 석탄발전소에 비해 그린하우스 가스 방출량을 60~65% 감소시킬 수 있다.

### 4. 결론

미국 발전사업자들은 1990년 개정 대기정화법에 규정된 엄격한 대기 방출물 허용치를 준수하기 위하여, 석탄 또는 천연가스 등을 이용한 최신 발전기술을 채택하게 될 것이다. 즉 노후 발전소는 새로운 기술로 교체되거나 개조되어 효율은 향상되고 공해물질은 더 적게 방출될 것이다.

미국은 2010년까지 150,000~250,000MW의 신규전원을 필요로 하는데 환경문제를 야기시키지 않고 이러한 추가전원을 확보하는 것은 21세기 미국 경제 성장을 유지하는데 필수적이다. 고효율 발전소는 소비자에게 저렴한 전력공급, 운전상의 경제성 확보 및 연료비 절감을 가능하게 해 줄 것이다.