

연소배가스 처리기술 평가를 위한 설비구축 및 활용방안

박성열, 한근희, 현주수, 민병무
한국에너지기술연구원 청정에너지연구부 연소배가스사업단

Establishment of Test Facility for Flue Gas Treatment Technologies and Utilization

Sung Youl Park, Keun Hee Han, Ju Soo Hyun, Byoung Moo Min
Combustion Gas Clean Up Technology Center, Clean Energy Research Department,
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

한국에너지기술연구원에서는 국내에서 개발된 연소배가스 처리기술의 상용화를 위한 실증용 설비구축 사업이 2002년부터 2005년까지 4년 동안 정부의 지원으로 추진 중에 있다. 본 사업은 시간당 1.0톤의 석탄 연소가 가능한 순환 유동층 연소보일러 및 부대 장치를 이용하여, 10,000 Nm³/hr의 연소 배가스를 공급할 수 있는 설비와 개방형 실험실을 구축함과 동시에 전문가 집단에 의한 기술지원체계를 확립하는 것이 최종 목표이다.

공동 활용을 목적으로 구축 중인 본 설비는 국내 기술개발 기관이나 기업체에서 이를 적극 활용하므로, 개발기술의 조기 상용화는 물론 개발기간의 단축과 기술개발비 절감이 가능하다. 본 사업을 통한 기대효과는 국내 관련기술 개발환경 개선 및 환경관련기술 수준향상은 물론 국가 R&D자금 활용의 효율성 제고와 중·소규모 기술개발업체에 대한 기술지원 확대가 예상된다.

2. 사업 개요

근래에 환경개선에 대한 정부의 관심이 고조됨에 따라 환경 분야의 기술 개발이 국가차원에서 추진되고 있다. 특히 경제성장에 따른 에너지 고급화 요구는 대기분야의 환경을 점진적으로 악화시키고 있는 상황에서 이를 개선하기 위한 연소 배가스 처리기술 개발이 집중적으로 개발되었으나, 아직 이 분야의 설비설치는 외국의 기술에 의존하고 있다.

연소 배가스 처리기술과 같은 장치위주의 기술개발은 단계적인 기술개발 과정(실험실규모 ⇨ Bench규모 ⇨ Pilot규모 ⇨ 실증 ⇨ 상용화)을 걸쳐 실증 또는 상용화가 추진되는데, 국

내의 기술개발은 앞에서 언급한 바와 같은 이유로 인하여 대개 Bench규모이하에서 기술개발이 종료되고 있어, 개발기술에 대한 신뢰성이 확보되지 못하여 개발기술의 상용화가 어려운 것이 기술개발의 문제점으로 지적되고 있다. 특히, Bench규모 이후의 기술개발을 위하여서는 막대한 설비의 투자로 대규모 기술개발비가 소요됨에 따라 민간투자가 어려운 상황이고, 연소 배가스 처리기술 개발은 연소 배가스를 이용하는 기본 시스템과 유사 측정 장비를 이용, 실증하여야 하는 기술적 공통성이 있는 공공성 사업의 특징이 있으므로, 국가차원의 공동 실증설비인 “연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템”구축 필요성에 따라 전문가 집단에 의한 기술지원이 가능한 전문연구기관인 한국에너지기술연구원에서 본 사업을 추진하게 되었다.

3. 연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템의 구성

가. 시스템의 전체 구성

본 시스템의 공정구성 내용은 다음의 Figure 1에서 보는 바와 같이 7개의 주요요소로 구성되어 있다. 원료 공급시스템에서 공급된 원료는 순환유동층 연소 및 보일러 시스템에서 연소하여 증기와 배가스를 발생시키고, 발생한 증기는 발전시스템으로 유입되어 전기를 생산하고, 회수된 증기는 수 처리 및 공급 시스템으로 유입되어 처리과정과 공급시스템을 거쳐 다시 보일러 시스템으로 공급하게 된다. 연소시스템에서 발생한 배가스는 처리시스템을 거쳐 오염물질을 제거하거나, 각 대기 오염원별 실험이 가능한 실험동에 공급되어 기술실증에 활용된 후 다시 오염물질을 제거하는 본 설비의 처리공정을 거치도록 되어있다. 연소보일러와 배가스 처리시스템에서 발생한 회재의 처리공정은 별도로 구성되어 있다.

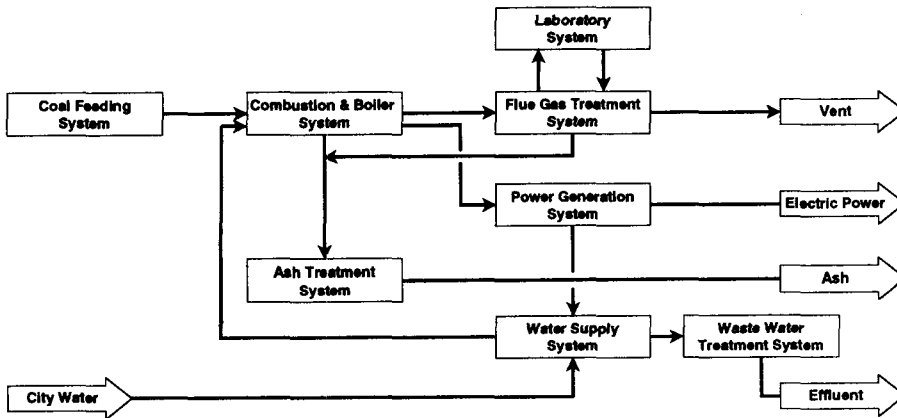


Figure 1. Configuration of flue gas treatment technology test facility.

나. 원료 공급시스템

본 설비에서 사용되는 연료는 유연탄과 폐기물로 자세한 흐름도는 다음의 Figure 2와 같

다. 시스템에 운송된 석탄은 트럭으로부터 Coal receiving bunker에 직접 Dumping한다. 석탄은 Belt conveyor와 Bucket elevator에 의해 이송되고 Vibrating screen에서 분리되어, 입도 10mm이하의 석탄은 Coal bin에 저장되고, 10mm 이상의 석탄은 Roll crusher에 유입되어 분쇄 한 후 공기수송방식으로 Coal bin으로 보내진다. 석탄은 Coal bin으로부터 연소로에 주입될 때 공급량(시간 당 1톤)을 제어할 수 있는 기능을 가진 Belt conveyor와 Rotary feeder를 설치하여 연소로에서 발생하는 역압을 차단하도록 하였다.

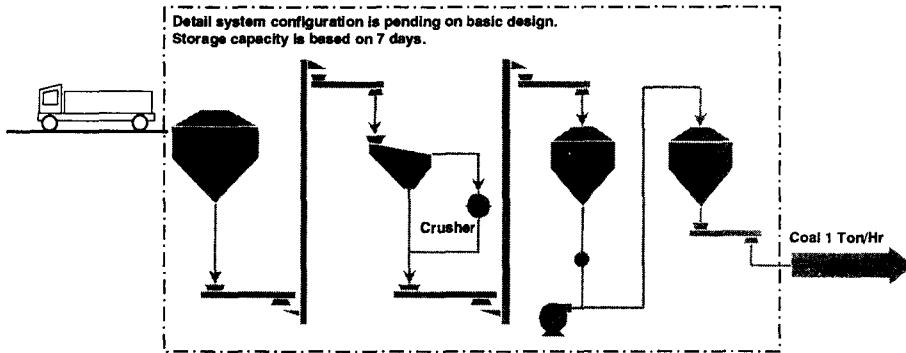


Figure 2. Schematic diagram of coal supply system.

다. 연소로 및 보일러 시스템

본 시스템에서 연소설비는 연료 사용의 다양성과 석탄 전처리가 비교적 단순한 순환유동층 연소보일러를 선택하였는데, 연소 배가스 배출량은 $10,000\text{Nm}^3/\text{hr}$ 기준(석탄 공급량; 1톤/시간)으로 설계되었으며, 시스템의 구성도는 다음의 Figure 3과 같다.

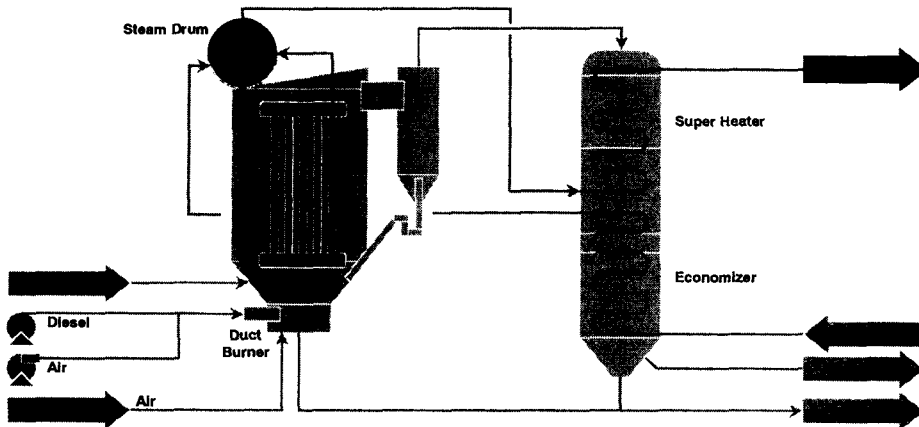


Figure 3. Combustor and boiler system.

순환유동층 연소로의 장점은 기-고 혼합효과와 체류시간이 길어 연소효율이 높으며, 동일한 Ca/S몰비에 대하여 높은 탈황율을 얻을 수 있고, 낮은 연소온도(750~950°C)와 단계적인 연소방식으로 NOx의 배출농도가 낮다. 또한, 비산입자의 거동으로 전열속도가 우수하고 미분탄 보일러에 비하여 전열면적의 축소가 가능하며, 유속의 조절에 의한 부하조절 범위가 높은 점과 회분과 수분이 많은 저급 연료 및 폐기물을 포함한 여러 종류의 연료 연소가 가능한 점을 감안하여 본 설비의 연소로로 순환유동층 보일러를 선정하였다. 또한, 열회수의 극대화를 위하여 Economizer 및 Furnace Membrane에 설치된 Tube Wall과 별도의 Superheater를 이용하여, 45kg/cm²의 증기를 시간당 10 ton 발생시켜 증기터빈에 공급할 수 있도록 하였다.

라. 발전 및 수 처리 시스템

보일러에서 발생한 과열증기를 이용하는 증기 터빈에 연결된 발전기의 발전 용량은 2.1 MWe으로, 발생된 전기를 자체 실험용 전력과 연구원의 전력공급계통과 연계하여 잉여전력을 본 설비의 외부로 공급 가능토록 하였다.

보일러 공급수는 고압급수가열기에서 150°C로 보일러로 공급하고 용존산소를 제거하기 위하여 탈기기를 설치하였으며, 터빈배기에서 배출되는 배출증기는 냉각탑에서 공급되는 냉각수를 이용하여 냉각시킬 수 있는 복수기를 설치하여 응축수의 손실을 최소화하도록 하였다.

System 내에서 소요되는 용수는 보일러의 blow down에 의한 손실 수분을 보충하기 위한 보충용 순수제조용과 터빈 배기증기를 응축시키기 위한 냉각수, 냉각탑 및 순수제조설비에 공급되는 여과수 그리고 소방용수로 구분된다.

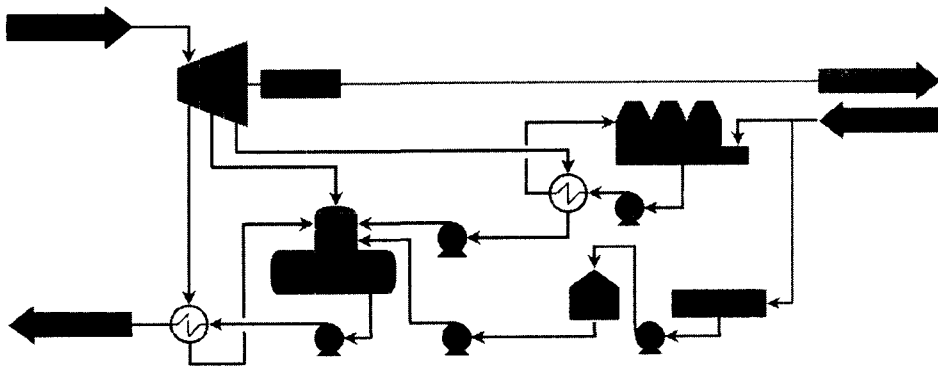


Figure 4. Power generation and water treatment system.

마. 연소배가스 처리시스템

1) 집진기 (Bag Filter)

연소 배가스에 포함된 분진 제거기술로는 전기집진기(Electrostatic precipitators) 또는 여

과집진기(Bag filter)가 일반적이는데, 본 설비에서는 미세먼지의 집진효율이 양호한 Bag filter system을 선택하였다. 여과 집진기로서 집진이 가능한 분진의 크기는 99% 이상이 0.5 μm 이고, 0.1 μm 인 입자도 상당량 제거되는 장점이 있다.

2) FGD (Flue Gas De-sulfurization)

배가스 중의 아황산가스를 제거하기 위한 가장 일반적인 공정은 Wet gypsum process로 석회석/석회 slurry와 SO_x가 반응하여 부산물로 gypsum이 생성되는 공정이다. 그러나 본 설비에서는 Wet-FGD보다 폐수처리 등과 같은 운영 면에서의 장점이 있는 Mg(OH)₂공정을 선택하였다. 이는 석회석/석회공정에 비해 막힘 현상이 적으며, 높은 SO₂제거효율을 유지할 수 있는 장점이 있기 때문이며, 연소 배가스 처리용량은 배출량과 동일한 10,000 Nm³/hr이고 제거율은 90%이상과 기존의 대기오염 배출허용농도를 기준으로 설계토록 하였다.

3) SCR (Selective Catalytic Reduction) 및 활성탄 탑

암모니아를 환원제로 사용하는 선택적 촉매환원공정으로, 환원제로 암모니아 대신 Urea를 사용하도록 하였으며, NO_x제거율을 향상시키기 위하여 FGD를 통한 배가스를 약 300°C 이상으로 가열할 수 있는 가열기를 설치하도록 하였으나, 최근 SCR 촉매의 성능이 향상되어 집진장치 앞에 설치하는 경우도 있어 이점을 신중히 고려하고 있고, 배가스 중에 잔존할 수 있는 미량의 오염물질 또는 악취를 제거할 목적으로 본 시스템에서 활성탄 탑을 굴뚝 앞에 설치토록 하였으며, 이들 연소 배가스 처리설비의 구성도는 다음의 Figure 5와 같다.

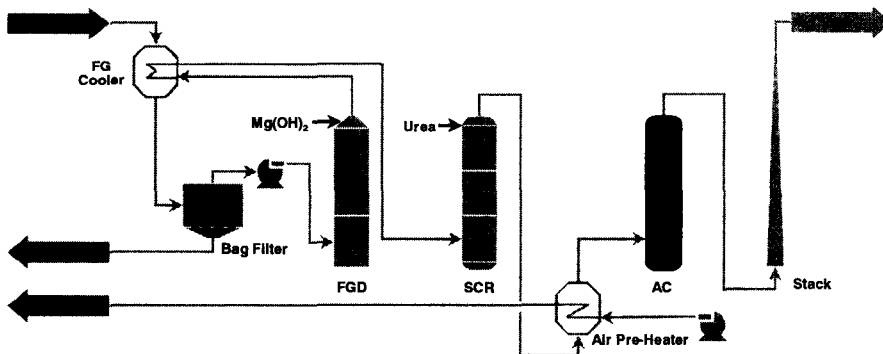


Figure 5. Flue gas treatment system.

4. 종합평가 시스템의 활용방안

설치될 “연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템”의 가장 중요한 역할은 대규모 실제 배가스를 이용한 개발기술의 실증용 공용 설비와 실험공간을 제공하여 앞에서 언급한 바와 같이 국내 관련기술 수준의 향상과 기술개발기간 단축 및 개발비의 절감이 가능하도록 관련 기관과 업체가 적극 활용토록 할 예정이며 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 활용 대상 기술 ; 탈황, 탈질, 집진, 온실가스, 중금속 및 소각 배가스 유해물질 처리 기술 등의 연소배가스 처리기술
- 설비의 활용계획
 - 국내 대기 환경오염물질 처리기술별 공동 실증시험설비로 활용
 - ↳ 기술개발 기관(사)에 실증설비 제공으로 기술개발비 경감 및 기간 단축
 - 개발된 연소 배출가스 처리기술의 상용화 촉진 설비로 활용
 - ↳ 개발 처리기술에 대한 Non-stop실증 가능
 - 국가의 대형 또는 중·소 단위기술개발계획과 연계하여 실증단계의 실험설비로 활용(환경설비품질인증제와 연계)
 - ↳ 관련 기술 개발 촉진 및 Engineering자료 확보
- 설비의 운영계획 ; 사용자 부담을 원칙으로 하되, 운영비 최소화를 유도하여 사용자에 부담을 경감.
 - 예) 설비의 발전 ; 자체 소비전력 공급, 매진 등으로 운영비 최소화

위와 같은 활용계획에 맞추어 본 설비에는 약 50평 규모의 오염원별 5개 실험실을 설치함과 동시에 공통분석 장비를 구비하도록 하였으며 그 개략도를 Figure 6에 나타내었다.

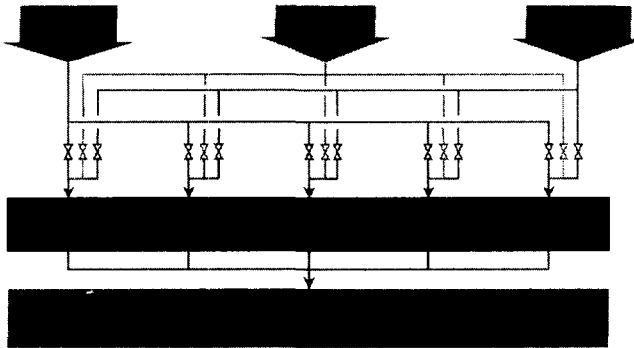


Figure 6. Laboratory system.

5. 결론

연소 배가스 처리기술 종합평가 시스템”의 구축은 국내 기술수준과 연구 환경 및 환경규제 강화추세 등의 주변여건을 종합하여 효율적이고 효과적인 연소배가스 처리공정의 상용화 개발에 이바지할 것이며, 단기간에 경제적인 기술개발을 통한 기술 자립화, 수입대체효과, 기술수출을 가능하게 하고 국내에서 운전 중인 기술의 최적화와 문제점해결, 교육을 통하여 기술수준을 향상시킬 수 있는 역할을 담당하게 될 것이다.