발전설비에서의 순산소 연소기술

김성철*,이현동,김재관,이인철,김영주,장석원
한전 전력연구원 수화력발전연구소
(sckim@kepri.re.kr*)

Oxy-Combustion Technology for CO2 Capture on Coal Power plant

Sung-Chul Kim*,Hyun- Dong Lee, Jae - Gwan Kim, In-Chul Lee,
Young-Joo Kim, Suk-Won Jang
Korea Electric Power Research Insititute
(sckim@kepri.re.kr*)

서론

우리나라는 2006년 기준으로 연간 5.9억톤의 CO2가 배출되었으며, 이중에서 발전분야에서 배출되는 CO2는 연간 약 1.5억톤 수준으로 화석연료인 석탄, 석유 및 천연가스를 연료로 사용하는 화력발전소에서 대부분이 배출되고 있다. 연료별 CO2 배출량은 석탄화력이 절대적으로 우세하며 약 46기의 석탄화력발전소에서 주로 배출되고 있는 실정이다. CO2 회수기술은 크게 연소 후 포집 (Post-Combustion Capture)기술, 연소 중 포집기술인 순산소 연소 (Oxy-Fuel Combustion)기술 및 연소 전 탈탄소화 (Pre-Combustion Decarbonization) 기술로 구분되며, 순산소 연소기술은 기존의 화력발전뿐 아니라 신규설비에도 적용이 가능한 기술이다.[1] 그러나 현재 CO2 회수기술을 석탄화력발전소에 적용할 경우에는 포집기술에 따라 차이는 있으나, 약 10% 정도의 발전효율 손실 감소가 발생[2,3]할 것으로 예측되며 이러한 손실을 감소시키기 위해서는 후처리기술에서는 저렴한 흡수제 개발이 필요하고, 순산소 연소기술에서는 저렴한 산소생산 기술개발 및 CO2 회수비용을 최소화하기 위한 기술개발이 CO2 회수기술의 관건이 되고 있다. 특히 정부에서는 포스트 교토를 대비하기 위해 2020년의 감축목표를 2005년과 대비하여 3가지 시나리오를 제시한바 있고 CCS 기술개발 및 도입도 검토하고 있다. 본 논문에서는 연소 중 CO2 회수기술인 순산소 연소기술에 관한 기술특성 및 기술 개발현황 등을 소개하고자 한다.

본론

1. 순산소 연소기술 원리

공기 중의 대부분을 차지하는 질소 성분을 제거하지 않고 보일러에 주입하는 기존의 공기연소 방식고하는 달리, 공기 중에 약 79%를 점하는 질소분을 제거한 순산소를 기존의 연소용 공기 대신 주입하여 연소시킨 후 CO2의 포집을 쉽게 하는 기술이 순산소 연소기술이다. 순산소 연소기술이 석탄화력발전에 적용되는 개념은 Figure 1과 같다.[4].

순산소 연소 기술은 석탄화력 발전설비에서 산화제를 공기대신에 순도가 최소 95% 이상인

고농도의 산소를 이용하여 미분탄를 연소시켜 열을 발생시키고, 연소 후에 발생하는 배가스의 대부분은 CO2와 수증기로 구성되어 있다. 발생된 배가스의 약 70~ 80%는 다시 보일러로 재순환시켜 기존의 발전설비의 열적특성과 유사한 연소가 가능하도록 유지시킴과 동시에 배가스의 CO2 농도를 최소 80% 이상으로 농축시킨다. 배출되는 배가스의 주성분인 수증기를 응축시킬 경우, 거의 전량의 CO2를 회수할 수 있고 회수된 CO2 를 저장시켜서 CO2와 대기오염물질의 무 배출을 구현하는 기술이다.

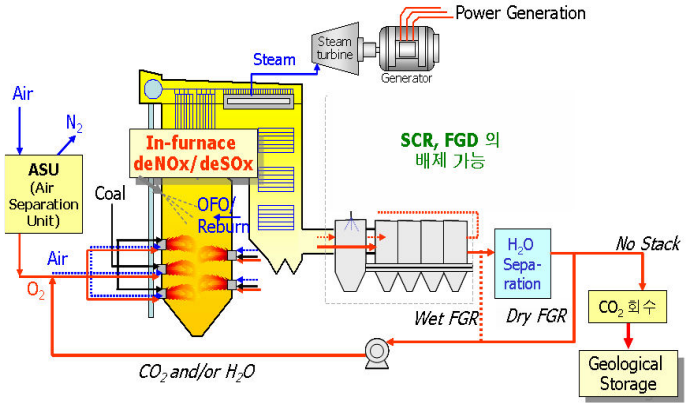

Figure 1. 순산소 연소기술에 기반한 CO_2 회수기술의 개념도

2. 순산소 연소 기술개발 동향

2.1 국외 기술 개발 동향

석탄 화력발전에 대한 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술개발은 유럽과 일본을 중심으로 이루어지고 있으며, 순산소 연소기술의 연구는 1980년대 말 미국의 Argonne National Laboratories에서 최초로 이루어졌고, 1990년대에 들어서 유럽의 IFRF (International Flame Research Foundation) 와 MBEL이 주축이 된 EU 콘소시엄, 캐나다의 CANMET 및 NEDO의 지원을 받은 일본의 J-Power, IHI 콘소시엄이 연구개발을 수행한 바가 있다. 주로 0.3MW에서 3MW 규모의 석탄보일러에서 순산소 연소에 의한 화염 및 보일러의 열적, 환경적 특성등에 대한 연구가 수행되었다. 2000년대 들어서면서 순산소 연소 석탄화력 발전기술은 연구개발의 수준을 넘어서 30MW급 파일롯 규모의 실증사업이 착수되기 시작하였고, 가장 대표적인 파일롯 규모 실증사업은 독일의 Vattenfall에서 추진하는 30MWth 규모 실증사업과 일본-호주 공동의 30MWe 규모 실증사업이다.

다음 Table 1은 국외에서 진행중인 대표적인 순산소연소기술 실증사업 현황이다.

Table 1. 진행중인 순산소연소 CO_2 회수기술 실증사업

Project (국가) / Site	주관전력사/설비사	규모/시기	비고
Vattenfall (스웨덴, 독일)/ Schwarze-Pumpe (독일)	Vattenfall/Alstom	30MWth : 2008 300MWth : 2015 1000MWth : 2020	신규 건설
CS-Energy-IHI (호주, 일본)/ Callide-A (호주)	CS-Energy (호)/ J-Power (일), IHI(일)	30MWe : 2010	개조
Sask Power (캐나다)/ Shand (캐나다)	SaskPower/B&W	300MWe : 2011	EOR (Enhanced Oil Recovery)
Jupiter Oxygen (미국)/ Orrville Utility (미국)	Orrville Utility/ Doosan-Babcock	25MWe : 2008	개조

2.2 국내 기술개발 현황

한국과학재단의 ERC 프로그램에 의해서 지원되고 있는 KAIST의 CERC (연소공학연구센터)에서는 산소 부화연소기술에 대한 연구를 2001년부터 수행해오고 있다. 그러나 ERC 프로그램이 기초연구에 국한된 연구를 수행하는 특성상, 순산소연소와 관련된 화염의 기본적인 연소특성과 복사특성 같은 기초연구에 국한되고 있어 아직 실용적인 분야에 적용되기에는 상당한 규모의 차이가 존재하고 있다.

한편 고온 순산소 연소기술과 관련된 연구개발동향은 교육과학부에서 지원하는 21세기 Frontier 연구개발사업단인 에너지기술연구원의 “이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단”(Carbon Dioxide Reduction and Sequestration R&D Center, CDRS)에서 지원하고 있는 고온 순산소 가열로 기술개발 과제이다. 철강업계 등에 적용을 목적으로 100톤/일 연속식 가열로를 개발하기 위한 연구개발사업이 수행되었으며, 이를 위해서 저 NOx 순산소 연소기술, PSA(Pressure Swing Adsorption)기술기반 소규모 산소 생산기술 및 순산소 연소 철강 가열로 개발에 대한 R&D가 2002년부터 수행되고 있다.

한편 한국전력공사 전력연구원에서는 실증규모의 순산소 연소 석탄화력발전소의 개념 설계 및 시스템 최적화를 위하여 2007년 10월부터 지식경제부의 에너지・자원 기술개발사업으로 ‘청정화력발전과 연계한 온실가스 처리시스템 구축’ 연구개발 프로젝트를 수행 중에 있다. 이 과제는 총 8년간 3단계에 걸쳐 수행되는 프로젝트로서 순산소 연소플랜트의 설계 및 최적 운용기술을 개발하여 100MW 급 대용량 순산소 연소 발전시스템을 실증화 할 계획이다.

3. CO2 회수기술의 차세대 기술개발 동향

차세대 CO2회수기술은 약 2~4%의 발전효율 감소를 목표로 하며, 이와 같은 차세대 CO2회수기술이 고효율 석탄화력 발전설비와 통합될 경우 송전단의 발전효율 40% 이상을 구현할 수 있을 것으로 예측할 수 있다. 차세대 CO2회수기술에서 가장 중요한 역할을 수행할 수 있는 기술이 분리막 기술이다. CO2회수기술에 적용될 수 있는 분리막 기술로는 산소생산을 위한 Oxygen Ion Transfer Membrane (ITM 또는 OTM), IGCC의 Water-Gas Shift 반응 및 CO2 분리

에 적용될 수 있는 Membrane Reactor 등도 포함될 수 있을 것이다. OTM 산소생산은 기존의 심냉식 공기분리기술을 이용한 ASU (Air Separation Unit)보다 설비비 및 생산비를 약 50%로 줄일 수 있을 것으로 예측되고 있으며, Oxy-PC 석탄화력 및 IGCC에 모두 적용될 수 있다. 그러나 현재의 OTM 산소생산기술의 수준은 약 5톤/일의 생산수준에 머물고 있어서 100MW급 발전설비에 적용을 위해서는 산소 생산능력이 약2,000 톤/일로 스케일업이 필요한 상황이다. 일반적으로 Membrane 기술은 파급효과가 매우 크지만 기술적 난이도도 그에 상응하게 높아서 가까운 미래에 실제의 CO2 회수공정에 적용될 수 있을지의 여부는 아직 불투명하다고 할 수 있다. 또 다른 차세대 CO2 회수기술이 매체순환 연소기술 (Chemical Looping Combustion, CLC)이다. 산화금속내의 산소를 석탄 연소에 활용하는 한편 부분적으로 환원된 산화금속은 다른 환원로에서 공기에 의해서 산화시켜서 순환식 산소 운반매체로 활용하는 방법이며, 현재는 석탄 대신 가스를 연소시키는 수준에 머물고 있으나 상용화를 위해서는 장기적인 연구개발이 필요하다.

결론

연소 중 CO2 회수기술인 순산소 연소기술의 개요를 간단하게 요약하여 소개한 본 내용에서 강조하고자 하는 바는 기후변화에 대한 올바른 대응을 위해서는 산업사회의 에너지 공급 및 소비 형태를 근본적으로 바꾸는 매우 광범위하고 심도 높은 사회의 구조를 개혁하는 작업을 동반하여야 하며, 이러한 노력이 제대로 된 결실을 맺기 위해서는 에너지의 공급과 소비 그리고 온실가스 배출원의 특성을 제대로 고려한 전략적인 방법론이 도입되어야 한다. 특히 에너지 다소비로 인해 CO2 발생이 많은 전력분야, 제철산업 및 석유화학산업은 배출원의 규모 및 종류에 있어서 다양하게 분포되어 있는 특징이 있으므로, 경제적으로 적용이 가능한 CO2 회수기술의 개발이 요구되며, CO2 회수기술의 실용화를 앞당기기 위해서는 정부차원의 제정지원 및 세금 혜택등을 통해 기업이 CO2 참여할 수 있는 여건 조성이 필요하고, 중장기적으로는 선진국과 차별화된 신기술개발이 필요하다.

참 고 문 헌

1. IPCC, Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge Univ. Press, 2005.
2. S. Ansolabehere, S., et al., The Future of Coal, MIT, 2007.
3. Stromberg, L., "Tecnology choice and benchmarking studies," 1st Workshop on Oxy-Fuel Combustion Research Network, Nov. 2005, Cottbus, Germany.
4. 김종수외 21, 청정화력발전 기술과 연계한 온실가스처리시스템 구축 기획보고서, 한국과학기술원, 2007