

## 순산소 발전시스템에서 운전변수에 따른 공정해석

김성철\*, 서혜경  
한전 전력연구원  
(sckim@kepri.re.kr\*)

## Process Analysis of Oxy- Combustion Plant with operating conditions

Kim Sung Chul\*, Seo Hai Kyong  
Korea Electric Power Research Institute  
(sckim@kepri.re.kr\*)

서론

이산화탄소를 포집하기 위한 CCS(Carbon Capture & Storage)기술 중에서 연소 중에 CO<sub>2</sub>를 포집하는 순산소 연소조건에서 125MW급 기존 석탄화력발전소에 공정 해석용 툴인 VMGSim을 활용하여 운전변수에 따른 Case 연구를 통해 공정해석을 수행하여, 최적의 운전 조건을 선정하였다. 운전변수로는 과잉산소 농도, 습식 및 건식 배가스 재순환율, 석탄건조 유, 무등에 대해 공정해석을 수행하였다.

본론1. 순산소 발전시스템

일반적인 공기연소에서는 석탄 연소 후 발생하는 연소가스의 대부분은 질소이며, 공기를 분리하여 산소만 보일러에 공급하여 연소하게 되면, 질소성분이 제거된 순수한 산소만이 기존의 보일러에서 사용된다면, 먼저 보일러 내에서 높은 화염온도, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O의 주요 조성가스의 높은 방사율로 인해 복사 전열량이 크게 증가하게 된다. 이로 인해 심한 Slagging과 NO<sub>x</sub> 발생이 예상되며, 배기가스 량 감소로 인해 보일러 후부 대류 전열부측에서 감소된 가스 유속으로 인해 열전도계수와 열 흡수를 낮추는 결과를 초래하게 된다. 그러므로 전열면적에 대한 수정이 없으면 보일러 설비 전체에 전반적인 열흡수 균형이 달라질 수 있으나, 이런 문제점은 보일러 출구에서 연소가스 중 일부를 재순환 시켜, 허용 가능한 범위 이내로 재순환 가스유량을 유지함으로써 해결 될 수 있다. 그림 1은 이러한 공정을 개략적으로 나타낸 순산소 발전 연소시스템 공정도이며, 순산소 미분탄 보일러 공정은 기존의 미분탄 연소 보일러와 비교하여 구별되는 세 가지 특징이 있다. 즉 연소용 공기는 공기 분리설비에서 침냉법에 의해 분리되어 산소만 (95mol% 산소, 2mol% 질소, 3mol% Argon) 보일러에 공급되고, 질소와 Argon은 대기로 배출된다. 또한 보일러에서 배출되는 연소가스의 약 2/3 이상이 재순환되어 버너로 순산소와 혼합되어 공급됨으로서 급격한 화염온도 상승을 방지하고 각 전열면에서 열흡수 균형을 맞추는 게 된다. 특징과 보일러에서 배출되어 다시 재순환되는 배가스를 제외하고, 나머지 연소가스는 냉각되어 함유된 수분을 제거하고 비활성 가스 분리 설비와 CO<sub>2</sub> 압축기를 거치어 110 bar까지 압축되어 회수 저장하게 된다.

그림1의 순산소 공정시스템은 산소 생산설비(ASU)에서 대기 중에 함유된 산소와 질소의 비등점 차이를 이용하여 95%이상의 산소를 생산한다. 생산된 산소는 보일러 출구에서 재

순환 된 연소가스와 혼합되어 미분탄과 같이 보일러 내로 투입되어 연소하게 된다. 연소 된 가스는 각종 전열 면에서 열흡수된 후, 온도가 저하되어 보일러 출구로 배출된다. 이 때 배출된 가스온도는 약 350°C 내외로 가스-가스 예열기와 전기 집진기를 거치면서 약 275°C로 저하된다. 전기집진기를 통과한 배가스 중 일부는 주 연소용 산소와 혼합되기 위해서 재순환 되며, 이때 재순환 되는 가스는 2차 재순환 가스라 한다. 2차 재순환 가스는 수분 함량이 25%로 높으며, 2차 재순환 가스를 제외한 나머지 가스는 탈황설비와 냉각장치를 거치면서 황산화물과 수분이 제거되며 이때 가스온도는 약 40°C 내외로 저하 하게 된다. 이중 일부 가스는 석탄 건조와 이송을 위해 재순환 되며, 이 때 재순환 되는 가스를 1차 재순환 가스라 한다. 저온의 1차 재순환 가스는 가스-가스 재열기를 거치면서 약 270°C 내외로 온도를 상승시켜 미분기에 보내지게 된다. 여기서 1차 재순환 가스의 산소 혼합은 미분기 내에서 자연발화 등을 방지하기 위해서 5% 이내로 제한하고 있으며, 가스-가스 재열기에서 가열되기 전에는 가스온도가 낮아 저온부식 발생 우려가 높으며, 사용탄의 유황 함량에 따라 탈황설비와 냉각장치 설비에 대한 저온부식 방지 대책 마련이 필요하다. 본 논문에서는 순산소 연소 발전시스템의 기본 구성도와 실증 발전소 설계기준을 바탕으로 운전변수 측면에서 여러 Case로 공정 해석전용 틀인 VMGSim을 사용하여 공정해석을 수행하였음.

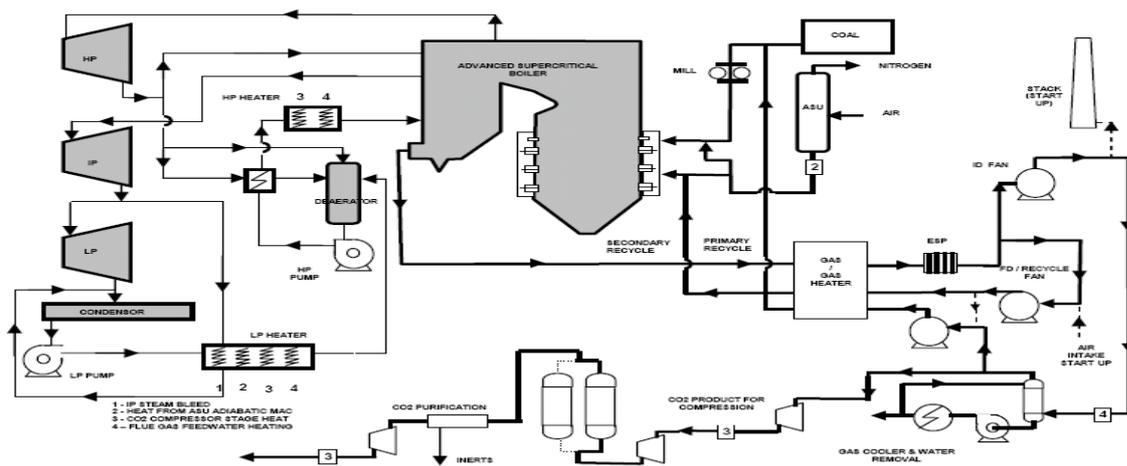


그림 1 순산소 미분탄 연소 발전시스템 공정도

공정해석에 사용된 설계탄의 공업분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. 순산소 연소 실증발전소 설계탄의 공업분석

분석항목 (Air Dry)	단위	석탄규격	
		설계탄	범위탄
총 수분	wt%	18	Max. 25
수분	wt%	10.3	Max. 18
휘발분	wt%	40.0	Min. 27
고정탄소	wt%	46.2	Max. 58
회분	wt%	3.5	Max. 12
열 량	kcal/kg	5,800	Min. 5200
회용점 (IDT)	°C	1,180	1,050
분쇄도	HGI	50	Min. 45

## 2. 공정 해석 Case

운전 공정 변수 총 12 Case로 나누어 공정 해석을 수행하였으며, 운전 공정 변수해석에 있어서는 산소 순도와 과잉 산소량, 공기 누설을 변화 및 공기와 순산소 연소가 가능한 Dual 연소 방식에서 재순환 배가스의 Wet와 Dry 가스 비율에 따른 전열량 변화와 효율 변화에 대해서도 해석을 수행하였음. 운전변수에 따른 공정해석 Case는 총 12개 Case로서, 1번 Case는 125MW 공기연소 조건이고 Case 2부터 Case 5번 까지는 가스재순환율 70%조건에서 wet, dry 가스조건을 80:20으로, Case 6은 배가스 재순환율 70%에서 Dry 가스와 Wet 가스의 조성 비율을 조정하여 공정해석을 수행하였으며 wet 배가스를 100%, Case7은 dry 배가스 100%, Case 8은 wet 90%, Case 9는 dry 90%, Case 10은 석탄을 건조한 조건이며, Case 11,12는 석탄을 건조하지 않고 wet와 dry를 80:20조건에서 공정을 해석하였으며 운전변수에 따른 case는 Table 2와 같음.

Table 2. 운전변수에 따른 Case 구성

Case	운전 조건	발전 용량	산소순도 (vol%)	과잉산소 (%)	가스 재순환율 (70 vol%)	Coal dry 유무	공기누설율 (%)
					Wet : Dry		
Case 1	Air-PC	125MW	해당없음	3	해당없음	X	3
Case 2	Oxy-PC	100MW	99	3	80 : 20	X	3
Case 3			95	3	80 : 20	X	3
Case 4			99	2	80 : 20	X	3
Case 5			99	4	80 : 20	X	3
Case 6			99	3	100 : 0 (Wet FGR only)	X	3
Case 7			99	3	0 : 100 (Dry FGR only)	X	3
Case 8			99	3	90 : 10	X	3
Case 9			99	3	10 : 90	X	3
Case 10			99	3	80 : 20	0	3
Case 11			99	3	80 : 20	X	2
Case 12			99	3	80 : 20	X	4

Table 3. 운전조건 Case별 공정해석 결과

CASE	시스템 특성	공정해석 결과
Case 1	- 125 MW급 공기연소 기준조건	
Case 2	- 100MW급 순산소 연소 기준조건	
Case 3	- 순산소 순도 저하(99%→95%)	- 산소생산 비용 저감 - 배기가스 불응축 가스 증가
Case 4	- 과잉산소량 변화(3%→2%, 4%)	- 산소 소비량 감소
Case 5		- 미연분 및 CO 발생량 증가
Case 6	- 재순환가스의 수분 제거 여부	- <b>효율 증가</b>
Case 7		- 저온부식 발생
Case 8	- 재순환가스비율 (Wet:Dry)	- <b>효율증가</b>
Case 9		- 저온부식 발생, 순환 가스량 증감
Case 10	- 고수분탄 수분제거 여부	- <b>효율증가</b>
Case 11	- 공기 누설율(3% → 2%, 4%)	- 배기가스 불응축 가스 증감(증가시)
Case 12		

## 결론

운전조건에 따른 각 Case의 공정해석 결과, 기존의 공기 연소와 순산소 연소를 동시에 만족하면서 운전이 가능한 순산소 실증발전소 운전 최적조건은 효율상승 측면에서 Case 6과 Case 10이 가장 바람직한 것으로 해석되었음.