

발전소 Corner Firing 보일러의 공기 및 순산소 연소 화로해석 비교

이인철, 장석원*, 김성철
전력연구원
(tkssi@kepri.re.kr*)

Comparison Of Power Plant Furnace Characteristics
With Air and Oxygen Combustion for Corner Firing Boiler

Lee In Cheol, Jang Seok Won*, Kim Sung Chul
Korea Electric Power Research Institute
(jangsw@kepri.re.kr*)

서론

화력발전소 보일러의 내부 순환유체는 Two Phase 유동특성과 연소가 매우 복잡하여 물리, 화학적 변화 현상들에 대한 문제해결과 이해를 하기 위해서 수치해석적 방법인 전산 유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용하여 보일러 화로 내부를 해석하였다. 발전소 코너형(Corner-type) 미분탄 연소 보일러의 공기연소 시에 화로 내부에서 나타나는 연소가스 흐름, 화염 형태 및 가스 온도분포 등 연소와 복사를 포함한 난류반응 유동장의 특성을 수치해석으로 분석하였다. 또한 공기 중에 질소를 제거하고 산소만을 연소용 산화반응으로 하였을 때 화로 내부에서 형성되는 열유동 특성 및 변화에 대해서 해석하고 상호 비교하였다. 질량 보존방정식, 운동량 보존방정식, 화학종 보존방정식, 에너지 보존방정식, 난류 모델 (RNG $k-\epsilon$ 모델), 복사열전달 모델을 이용하였으며, 열유동 변화에 대하여 FLUENT ver. 6.3.26을 사용하여 결과를 얻었다.

본론

1. 해석 영역 및 경계조건

코너형 보일러 설비는 전열면을 포함하여 각 코너에 Top, Middle, Bottom 버너가 설치되어 있으며 실제 형상은 각 버너간의 매우 작은 간격이 존재하나, 계산시간을 고려하여 간격을 면적에 포함시켜 수치 해석을 수행하였다. 각 버너 위치별 산화제 공급 위치는 Fig 1에 나타낸 바와 같다. 코너형 보일러 화로는 Fig 2에 나타낸 바와 같이 내부에 vortex가 형성되어 효과적으로 연료와 산화제간의 반응 효율을 증가시키게 되는데, 본 해석에서는 51° 각도로 시계 방향으로 선회 유동이 형성되는 구조로 계산에 사용된 격자는 Fig 3에 나타낸 바와 같이 육면체 격자를 사용하였다.

Table 1은 전산해석을 위해 공급된 미분탄의 공업분석 및 원소분석치이다. 수치해석을 간략하게 하기 위하여 CFD modeling data는 성분을 단순화하였으며 미분탄의 고위발열량(HHV)은 값은 값으로 계산하였다. 원소분석의 황(S) 함량은 0.8%이므로 해석에서 제외하였다. 또한 미분탄의 입도는 200Mesh(JIS체 $74\mu\text{m}$)로 70~80% 통과량을 사용하기 때문에 $74\mu\text{m}$ 미분탄 입경으로 계산을 수행하였다.

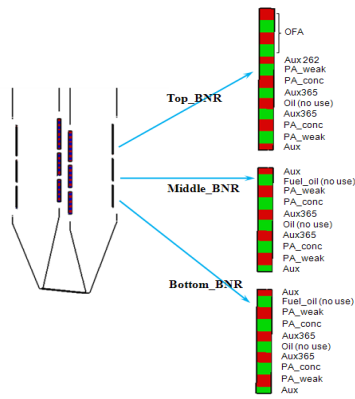


Fig 1. 코너형 보일러 화로의 각 위치별 연료 및 산화제 공급 위치

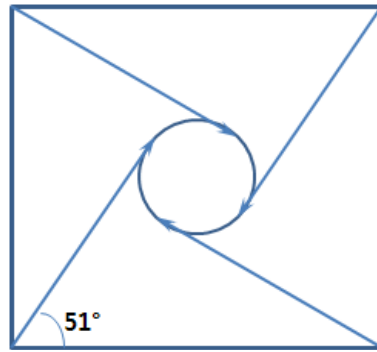


Fig 2. 코너형 보일러에서의 유동 분사 각도

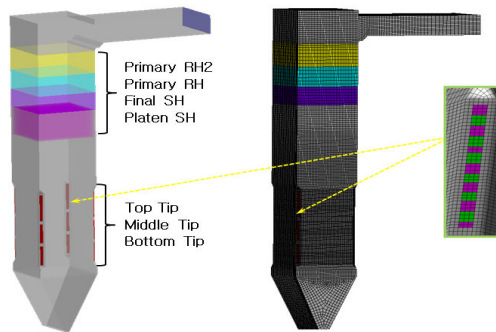


Fig 3. Computational Model of Corner-type Furnace

Table 1. 석탄 공업분석/원소분석 결과

구 분	화학조성(Wt %)	구 분	화학조성(Wt %)
Fixed Carbon	52.0	C	69.0
Volatile Matter	28.0	H	4.3
Ash	15.0	N	1.4
Moisture	5.0	O	8.7
		S	0.8
		Ash	15.8
		HHV(kcal/kg)	6,736

2. 공기 및 순산소연소 화로 온도분포 비교

코너형 보일러 화로내부에서 공기연소의 경우 온도분포는 Fig 4에서처럼 미분탄과 산화제가 유입되는 버너쪽에서 매우 빠르게 반응이 일어나며, 코너형의 특징인 vortex로 인하여 화로 내부 중심부에 안정적인 화염대가 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 출구쪽으로 진행되면서 유동이 균일화되어 온도분포도 전반적으로 균일한 분포를 보이고

있었으며, 수평단면에서의 온도분포는 상부로 유동이 진행될수록 vortex에 의해 미분탄과 산화제의 혼합이 효과적으로 증가되어 반응이 활발히 일어나는 영역이 확대되는 것을 확인할 수 있다.

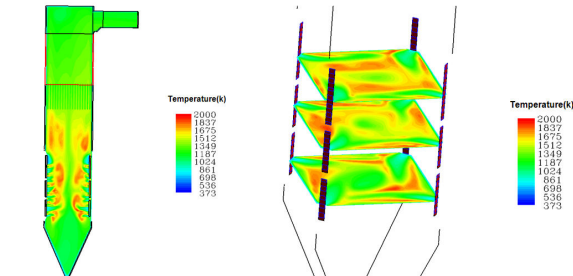


Fig 4. 공기연소 조건의 화로내부 수직/수평단면 온도 분포(2000K 기준)

반면, 순산소 연소조건에서의 온도분포는 Fig 5에서처럼 공기연소 조건에 비해 화로내 온도분포가 매우 높은 것을 알 수 있으며, 상부쪽으로 진행되는 가스의 온도도 공기조건에 비해 높으나, 과열기를 지나면서 가스의 평균 온도는 다소 낮게 계산되었는데, 이는 순산소 연소조건이 가스 체류시간이 상대적으로 크기 때문에 전열면 열흡수에 의한 영향으로 판단된다.

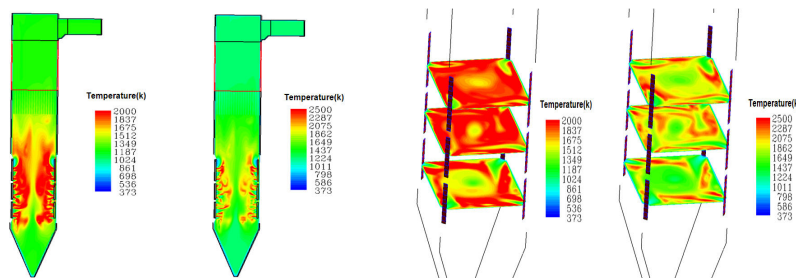


Fig 5 순산소연소 조건의 화로내부 수직/수평 단면 온도분포(2500K 기준)

3. 화로 미연탄소량 및 체류시간 비교

코너형 화로의 경우, Fig 6에서 볼 수 있듯이 대부분의 미분탄이 연소가 완료된 상태에서 배출되고 있으며, 보일러 출구로 빠져나가는 미분탄 입자에 포함된 미연 탄소량은 약 7.6% 정도로 계산되며, 화로내로 유입되는 미분탄의 체류시간은 평균 13초로 계산되었다. 반면, 순산소연소 조건에서는 동일한 조건에서 공기연소 조건에 비해 유량이 감소하였으므로 체류시간은 평균 51초로 증가하였으며, 미연탄소분은 미분탄 입자의 vortex에 의한 입자와 산화제간 반응시간이 증가하였음을 알 수 있었다.

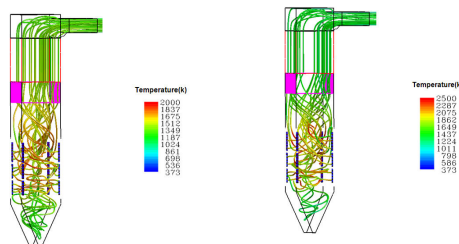


Fig 6. 공기 및 순산소연소 조건하에서의 미분탄 입자 궤적

4. 배기가스 재순환을 고려한 화로 온도분포 비교

배기가스가 재순환되는 경우를 고려할 때 Fig 7에서 공기연소에서 2300K에 해당하는 온도구간이 감소하며, 온도장의 최대 화염온도 변화를 확인할 수 있었다. 해석대상 보일러의 운전유량 및 화로내 체류시간은 최대 화염분포가 낮게 나타났으나, 순산소연소에서는 최대 화염온도 분포가 다소 높음을 알 수 있다. 화로출구에서의 연소가스 평균온도는 재순환율에 따라서 큰 차이를 보이지 않고 있는 것은 유량증가에 따른 체류시간 감소로 전열면 열흡수 등 열손실이 감소하기 때문으로 판단된다.

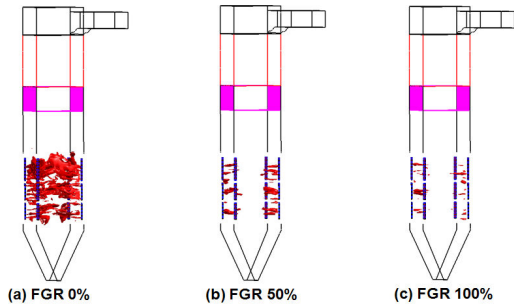


Fig 7. 공기연소 재순환의 화로내부 온도 분포

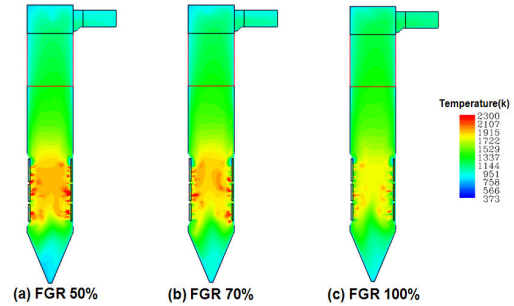


Fig 8. 순산소연소 재순환의 화로내부 온도 분포

순산소 연소시의 화로내 연소생성물은 Table 2에 나타내고 있으며, 화로 출구에서의 화학종 농도는 차이가 없다. 유량이 증가하면서 화로내 평균 체류시간 감소와 출구 연소가스 평균온도는 공기연소 조건과 비교해볼 때 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 2. 코너형 보일러 화로 출구에서의 온도 및 각 화학종의 농도

		공기연소	순산소연소	FGR 50%	FGR 70%	FGR 100%
화학종 (mole frac.)	CO2	14.48	62.02	58.75	60.35	61.01
	O2	3.75	14.21	18.02	16.38	15.67
	N2	76.54	0.57	0.54	0.53	0.55
	H2O	5.42	23.20	22.69	22.74	22.77
연소가스 출구 온도(°C)		1216.24	1,183.57	1193.90	1205.21	1233.80
평균체류시간 (sec)		12.82	51.39	49.63	45.69	38.58

결론

코너형(corner-type) 보일러 화로 내에서 미분탄과 산화제의 연소반응에 대한 전산유체역학 해석을 수행하여 화로 내부의 유동장 특성, 온도장 및 농도장 특성을 알아보았다.

코너형(corner-type)은 버너에서 51도 각도로 화로내부로 유입되어 중심부에 안정적인 화염대 형성과 상부 유동으로 반응이 활발히 일어나고 있음을 확인할 수 있었다.

순산소연소 조건에는 공기연소에 비해 화로내 온도 분포가 매우 높게 형성되었으며, 화로 체적은 유량이 감소하여 체류시간이 증가되었으며 미연탄소분은 체류시간이 증가하면서 반응이 완료되었으며, 재순환시에는 고온영역을 감소시켜 온도분포 및 화로출구에서의 가스 평균온도가 공기연소 조건과 유사하게 운전할 수 있으리라 기대한다.