

석탄화력보일러에서 고수분탄 및 건조석탄 사용에 따른 연소 및 배기배출 특성에 대한 전산해석 연구

안석기* · 김강민* · 김규보** · 이시훈*** · 전충환*[†]

*부산대학교 기계공학부, **화력발전 에너지 분석기술센터, ***한국에너지기술연구원
(2017년 11월 10일 접수, 2017년 12월 11일 수정, 2017년 12월 13일 채택)

Numerical Study on the Characteristics of Combustion and Emission in Pulverized Coal-fired Boiler for Using High Moisture Coal and Dry Coal

Seok-Gi Ahn*, Kang-Min Kim*, Gyu-Bo Kim**, Si-Hyun Lee***, Chung-Hwan Jeon*[†]

*Department of Mechanical Engineering, Pusan National University,
Pusan Clean Coal Center, *Korea Institute of Energy Research

(Received 10 November 2017, Revised 11 December 2017, Accepted 13 December 2017)

요 약

본 연구에서는 석탄화력보일러에서 고수분탄 및 건조석탄 사용이 연소와 배기배출 특성에 미치는 영향에 대한 전산해석 연구를 수행하였다. 대상 보일러 설계 조건의 성능데이터를 기준으로 보일러 해석 모델 결과를 검증하였으며, 역청탄과 고수분탄 및 건조석탄을 혼소하는 조건에 대한 계산을 수행하였다. 고수분탄 혼소 비율이 높아질수록 가스 수직속도는 증가하였으며, 이는 연료의 노내 체류시간을 줄여 보일러 연소성에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 건조석탄을 혼소할 경우 역청탄과 유사한 연소 및 배기배출 특성을 보였다. 고수분탄 혼소 비율이 높아질수록 수분영향에 의해 버너영역에서 연소반응 및 NOx 생성은 감소하였으며, OFA(Over-fire air) 이후에 가스온도와 NOx 생성이 높아지는 결과를 확인하였다.

주요어 : 고수분탄, 전산해석, 석탄연소, 석탄화력보일러

Abstract - This study was performed to investigate the characteristics of combustion and emissions in pulverized coal fired boiler for using high moisture coal and dry coal through computational fluid dynamics(CFD). We validated this boiler model with performance data of the boiler. The results of flow characteristics showed that climbing speed of gases was increased as blending ratio of high moisture coal was increased. It can decrease a residence time of fuel in the furnace. And it influence coal combustion. The coal burnout and NOx generation in burner level were decreased as increasing blending ratio of high moisture coal. The gas temperature and NOx formation were increased after OFA level due to coal burnout delay.

Key words : High Moisture Coal, CFD, Coal Combustion, Pulverized Coal-fired Boiler

[†]To whom corresponding should be addressed.
Tel : 051-510-3051 E-mail : chjeon@pusan.ac.kr

1. 서론

세계 1차 에너지소비 통계에 따르면, 석탄 및 천연가스의 소비량이 지속적으로 증가하고 있으며 특히 아시아태평양지역의 경우 1차 에너지 중 석탄의 비율은 50%를 차지하고 있다.[1] 이러한 배경에는 중국과 인도 경제의 고도성장에 따른 에너지 수요의 급격한 증가가 있으며, 특히 중국은 세계 최대 Steam coal 생산국인 동시에 수입국으로써 2013년도 Steam coal 소비량이 약 33억 톤으로 세계 석탄소비량인 60억 톤의 절반 이상을 차지하고 있다.[2] 이로 인해 중국에서는 그동안 사용이 제한되었던 고수분 저급석탄에 대한 수요 역시 증가하고 있으며, 기존 보일러에 안정적인 연료공급 및 연소 안정성을 위해 고수분탄에 대한 효율적인 석탄건조기술을 필요로 하고 있다.

석탄 내 수분함량이 연소 및 배기배출에 미치는 영향에 대한 많은 실험 및 해석적 연구가 국·내외적으로 수행되고 있다.[3-5] 본 연구를 수행하기에 앞서 S.G. Ahn 등[6]은 Drop Tube Furnace(DTF)를 이용하여 고수분 석탄과 건조석탄의 미연분 및 NOx 배출 특성에 관한 실험과 수치해석 연구를 수행하였으며, 석탄 내 수분함량이 증가함에 따라 가스온도는 감소하고, 또한 주위 온도(Wall temperature in DTF)가 증가함에 따라 건조석탄의 연소성이 고수분탄에 비해 빨라지는 것을 확인하였다.

선행연구를 통해 알 수 있듯이 고수분탄의 수분이 건조되면 갈탄 등급의 저급 석탄이 아역청탄 및 역청탄 등급의 석탄으로 연료의 질이 향상될 수 있으며, 이로 인해 석탄 내 수분 건조 기술은 발전 현장에서 많이 적용되고 있다. 미국의 GRE(Great River Energy)에서는 발전소에서 사용하는 갈탄을 건조하기 위해 발전소 폐열을 이용하여 약 25%의 수분함량을 낮추어 Plant performance를 2.8-5.0% 향상시키는 결과를 얻었으며, [7] 한국에너지기술연구원(KIER)에서는 석탄화력발전소의 미활용 에너지(Steam 또는 Hot flue gas)를 이용하여 고수분 석탄을 발전소 현장에서 건조하고 보일러에 직접 활용할 수 있는 COMBDry(Counter flow Multi-Baffle Dryer) 석탄건조기술을 개발하였다. 1 ton/day 규모의 COMBDry 건조기를 중국 하얼빈 공대에 설치하여 다양한 중국 고수분 석탄을 대상으로 시운전 및 상용화 규모 Process Design Package 개발에 필요한 실험 및 운전 자료를 확보하기 위해 연구를 진행 중에 있다.

본 연구에서는 향후 COMBDry 석탄건조기술이 상용화 단계에 들어섰을 때, 소비탄의 수분함량 변화가 미분탄 화력보일러에서 연소 및 배기배출 특성에 어떤 영향을 미치는지 전산해석 기법을 통해 미리 예측해보고 그 결과를 분석하였다.

2. 수치해석

2-1. 석탄 시료

본 연구에서는 As received basis에서 수분 함량이 38%인 고수분의 Coal P와 역청탄인 Coal D를 사용하였다. COMBDry 석탄건조기에서 일반적으로 30%의 수분함량을 갖는 석탄이 건조과정을 거칠 경우 수분은 10% 수준으로 감소된다. 따라서 본 연구에서는 고수분탄의 건조석탄을 Laboratory 환경에서 만들기 위해 Coal P 원탄(Raw coal)을 45°C 건조기에서 10시간 가량 건조하여 11%의 수분함량을 갖는 건조석탄(Dry coal)을 준비하였다. 본 연구에서 사용된 Coal P의 원탄과 건조석탄, 역청탄인 Coal D의 공업분석, 원소분석 및 발열량은 Table 1과 같다. Coal P는 갈탄(lignite) 등급의 연료 조성 및 발열량 특성을 보이고 있으며, 건조석탄의 경우 고수분 원탄에 비해 수분함량은 낮고, 고정탄소와 휘발분의 비율이 높아진 것을 확인할 수 있다. 건조석탄의 경우 연소성분 비율의 증가로 인해 발열량 역시 3,673kcal/kg에서 5,186kcal/kg으로 높아지는 특성을 보인다. Coal P의 원탄과 건조석탄의 원소분석은 DAF(Dry Ash Free)조건이므로 수분함량과 관계없이 같은 값을 갖는다.

2-2. 해석 대상 보일러

본 연구에서는 국내 석탄화력 발전 가운데 가장 많은 발전용량을 갖는 500MW급 표준 화력보일러를 대상으로 전산해석을 수행하였다. Fig. 1은 해당 보일러의 구조를 나타내고 있다. 보일러는 평균 75 μ m 정도의 미분된 석탄을 연료로 사용하며, 접선 분사형 타입으로 각 코너에 위치한 버너에서 연료와 공기가 분사되어 노 내 선회유동을 따라 연소된다. 1개 층에 4개의 버너가 있으며, 총 6개 층으로 24개의 버너가 있다. 일반적으로 가장 상부의 1개 층 버너는 Standby 버너로 정상 운전시에는 아래 5개 층의 20개 버너만 사용한다. 버너부에는 연료 및 1차공기와 2차공기가 함께 분사되며, 버너 영역 상부에는 Over-fire air(OFA)를 통해 나머지 연소공기가 공급된다. 보일러 상부에는 과

Table 1. Coal properties

Coal	Coal D	Coal P		
		(Raw)	(Dry)	
Proximate analysis (wt%)	FC	52	29	41
	VM	28	30	43
	Ash	15	3	5
	Moi.	5	38	11
Ultimate analysis (wt%,DAF)	C	81.94	66.09	
	H	5.11	5.67	
	O	10.33	26.67	
	N	1.66	1.51	
	S	0.96	0.06	
HHV(kcal/kg)	6080	3673	5186	

*FC=Fixed Carbon, VM=Volatile Matter, DAF=Dry Ash-free basis, HHV=Higher heating value

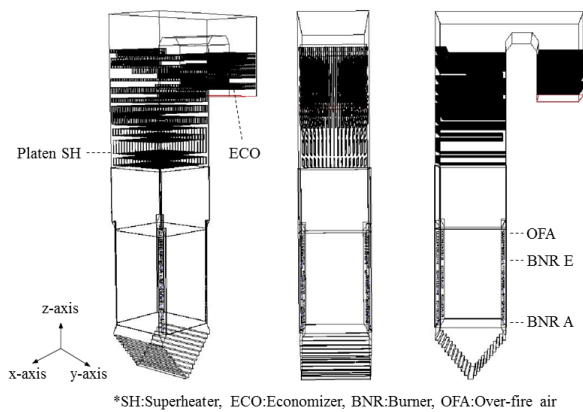


Fig. 1. Schematic of the 500MW tangentially coal fired boiler

열기, 재열기 및 절탄기가 위치해 있으며 이를 고려하여 3차원 보일러 형상을 구성하였고, 약 450만개의 육면체 계산 격자를 사용하였다.

2-3. 해석 방법

본 연구에서 사용되는 모델들은 Navier-Stokes 방정식을 기초로 한 식(1)-식(4)와 같은 질량, 모멘텀, 에너지 그리고 화학종 보존 방정식이 적용되었다. 또한 노내에서 기체상의 유동을 따라 거동하는 석탄 입자를

고려하기 위해 DPM(Discrete Phase Method) 모델을 적용하였으며, 입자가 운동하는데 평균 속도 뿐만 아니라 순간적인 난류속도의 변동을 고려한 입자궤적 해석을 위해 Discrete Random Walk Model을 함께 사용하였다. 보일러 내 가스 유동 모사를 위해 난류모델은 Realizable k-ε 모델을 사용하였고, 복사 모델은 구분종좌법(Discrete ordinate method)을 통해 복사 열전달 계산을 고려하였다. 입자의 복사 열전달은 석탄 입자의 방사율(Emissivity)과 산란(Scattering)을 고려하여 복사 열전달 계산에 반영하였으며, 각 수치는 0.9로 설정하였다. 또한 흡수계수(Absorption coefficient)는 가스 중 CO₂와 H₂O를 고려하여 계산하는 회색기체가 중합법(Weighted sum of gray gases model)을 사용하였다.

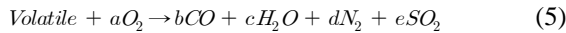
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho \vec{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \cdot \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = -\nabla \cdot \left(\sum_j h_j J_j \right) + S_h \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + S_i \quad (4)$$

석탄연소 과정은 크게 수분 증발, 탈휘발 그리고 좌 연소로 세 단계로 구분된다. 본 연구에서는 석탄 내 수분함량 차이에 따른 연료 영향을 고려하기 위해 Wet combustion 모델을 사용하였으며, 탈휘발 현상은 S. Badzioch 등[8]이 제안한 Single Kinetic Rate Model [8]을 사용하여 계산하였다. 탈휘발 과정에서 빠져나온 휘발분의 연소반응은 Volumetric Reactions으로 고려하여 Finite-Rate/Eddy-Dissipation 모델을 사용하였으며, 식(5), (6)과 같은 Two-step Reaction을 통해 계산된다. 석탄의 탈휘발이 종료되면, 좌 연소 반응이 시작되며 좌 산화속도는 좌 표면에서 탄소-산소의 화학 반응속도와 경계층과 내부에서의 산소 확산속도에 의해 결정된다. 본 연구에서는 좌 연소 모델로 Kinetic/Diffusion limited 모델[9]을 통해 좌 연소현상을 계산하였다.



석탄은 보통 0.5-3% 정도의 질소를 함유하고 있으며, 석탄에 포함된 질소 원자가 산화되어 생성된 NOx를 Fuel NOx 라고 한다. 석탄 연소 시 발생하는 NOx는 주로 Fuel NOx와 Thermal NOx이며 석탄내 수분

함량 차이는 연소시 주위 온도에 영향을 미칠 수 있고 이는 Thermal NOx 생성과도 연관이 있다. 따라서 본 연구에서는 NOx 예측을 위해 Fuel NOx와 Thermal NOx 모델을 고려하여 해석을 수행하였다. Fuel NOx에서 Volatile N이 HCN과 NH₃로 나뉘는 비율은 9:1 조건으로 설정하였으며[10], Thermal NOx는 O, OH radical에 대해 Partial equilibrium으로 설정하였다. 연소해석 결과를 바탕으로 Post-processing 과정을 통해 NOx 수치를 예측하고 결과 값은 O₂ 6% 조건으로 나타내었다. 본 연구는 상용코드인 ANSYS Fluent v17.1[11]을 이용하여 수행하였다.

2-4. 해석조건

보일러 연소시 석탄 내 수분의 영향을 확인하기 위해 다음과 같이 사용되는 석탄 종류에 따라 해석조건을 선정 하였다. Case 1) Coal D 전소, Case 2) Coal D, Coal P_{Raw} 혼소, Case 3) Coal D, Coal P_{Raw}, Coal P_{Dry} 혼소, Case 4) Coal D, Coal P_{Dry} 혼소. 위 4가지 계산 조건은 550MW 출력(BMCR기준)을 낼 수 있는 동일한 입열량(1365MW)을 기준으로 각 조건별 연료 공급량과 혼소비율을 결정하였다. 미분기 1대가 처리할 수 있는 최대 석탄 공급량(43.37 ton/h, BMCR 기준)을 기준으로 계산할 경우 가장 많은 석탄을 사용하는 Case 2)는 Coal D와 Coal P_{Raw}의 혼소비가 각각 70%와 30%이며, 나머지 Case 3)과 Case

Table 2. Calculation cases and boundary conditions

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Heat input (MW)			1365		
Coal (Blending ratio, wt%)		Coal D(100)	Coal D(70) P_Raw(30)	Coal D(73.2) P_Raw(15.7) P_Dry(11.1)	Coal D(76.7) P_Dry(23.3)
Coal feed rate (ton/hr)	Coal_D	193	153	153	153
	P_Raw	-	66	33	-
	P_Dry	-	-	23	46
	Total	193	219	210	200
Excess air (%)			20		
Air feed rate(ton/hr)		1993	1948	1961	1975

*P_{Raw} = Coal P_{Raw}, P_{Dry} = Coal P_{Dry}

4)는 Coal D의 공급량은 Case 2)와 동일하게 유지하면서, 고수분탄인 Coal P_Raw를 건조석탄인 Coal P_Dry로 변화시켜 고수분탄 연료를 건조석탄으로 대체하여 혼소할 때 실제 보일러에서 어떠한 연소특성 변화가 나타나는지 분석하고자 하였다. 운전 및 해석 조건에 대한 주요 내용은 Table 2에 정리하였다. 고수분탄 비율이 높아질수록 공급 연료의 평균 발열량이 낮기 때문에 석탄 공급량은 많고, 연료 내 산소함량은 높아 필요로 하는 연소공기량은 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3. 연구 결과

3-1. 보일러 모델 검증

Case 1에서 사용된 Coal D는 본 연구의 대상 보일

러인 표준화력 미분탄 보일러의 설계탄으로써, 해당 보일러의 설계조건에 성능 데이터는 설계탄 소비를 기준으로 정의된다. 본 연구에서는 보일러 모델의 검증 을 위해 해석결과와 보일러 설계조건에 성능 데이터를 비교하였다. Table 3은 가스온도, 산소분율, NOx 배출 결과를 보일러 성능 데이터와 해석결과를 비교해서 나타내고 있다. Economizer(ECO) 후단, Primary superheater(SH) 입구, Platen superheater(SH) 입구에서 평균 가스온도 결과를 비교하였으며, 노 내 온도분포를 잘 모사하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 ECO 후단에서 O₂, CO₂, NOx 분율 역시 보일러 성능 데이터와 비슷한 수치를 보이고 있다. Fig. 2는 보일러 및 버너 A 위치 단면에 대한 가스온도, 산소분율 및 NOx 결과를 보여주고 있다.

Table 3. Comparison of Performance data and CFD results for boiler model validation

	Gas temperature (K)			O ₂ mole fraction (%)	CO ₂ mole fraction (%)	NOx (ppm@6%O ₂)
	@ECO outlet	@Primary SH inlet	@Platen SH inlet			
Performance data	633	1468	1389	3.6	15.6	155
CFD	638	1500	1379	3.5	14.5	152.5
Deviation	+5	+32	-10	+0.1	-1.1	-2.5

*ECO = Economizer, SH = Superheater, Results of O₂, CO₂ and NOx are at ECO outlet

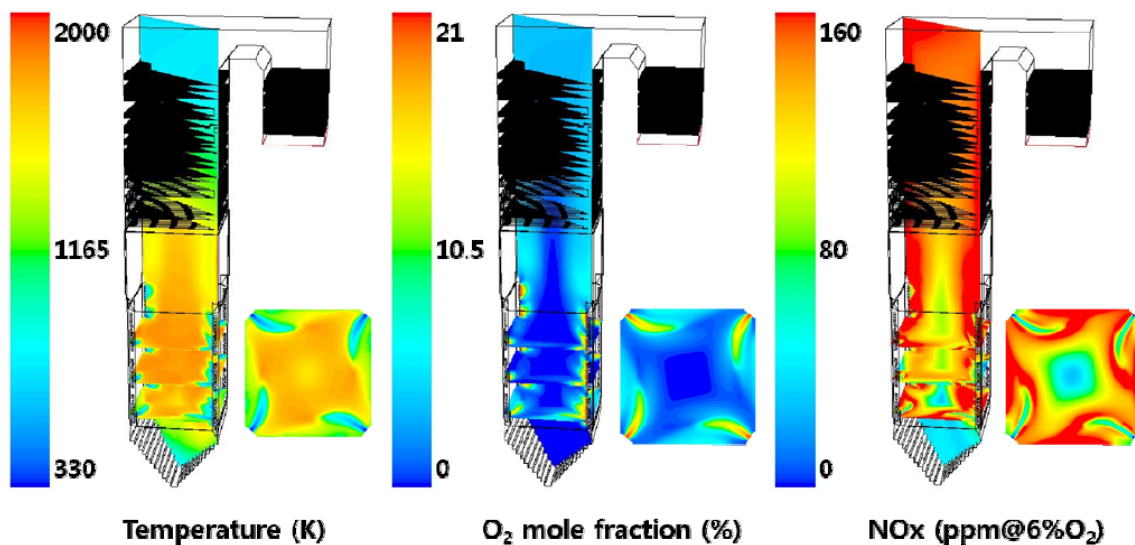


Fig. 2. Simulation results for Case1; Temperature(K), O₂ mole fraction(%), NOx(ppm@6%O₂)

3-2. 건조석탄 및 고수분탄 적용에 따른 해석 결과

3-2-1. 유동특성

Fig. 3은 보일러 높이에 따라 Z축(보일러 높이)방향의 가스 유동 평균 속도를 나타내고 있다. 모든 조건의 경우, OFA 영역 이전까지는 비슷한 속도를 갖지만, OFA 이후부터는 Coal P 원탄 비율이 높아질수록 상승 속도는 더 빠른 것을 확인할 수 있다. 버너부에서 연소공기 공급량이 가장 많은 Case1의 속도가 가장 빠를 것으로 생각되지만, 고수분탄이 혼소되는 조건에서는 버너부에서 석탄의 수분이 급격히 증발됨에 따라 주위 가스 부피를 증가시켜 Case 1의 상승속도와 큰 차이를 보이지 않게 된다. 이러한 수분의 영향은 OFA 이후에서 확실한 속도 차이를 나타내며, 40m 이후로는 일정한 속도차로 가스가 상승하는 결과를 보인다. 일정 높이의 연소로에서 가스 상승 속도가 증가하면 미분탄 입자가 노 내에서 반응하는데 필요한 체류시간을 줄이게 되며, 이는 연료의 연소성 감소와 후부 연소 발생에 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

3-2-2. 연소특성

석탄 내 수분은 열분해 과정동안 액상에서 기상으로 상변화에 필요한 주위 열에너지를 흡수하면서 주위 연소특성에 영향을 미치게 된다. 4가지 계산조건에 따라 고수분탄과 건조석탄의 혼소 정도가 연소성에 미치는 영향을 확인하기 위해 Fig.4 에는 연료가 소모되는 정도를 보일러 높이방향에 따라 비교하여 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Coal D 전소조건(Case1)과 건조석탄만 혼소한 조건(Case4)의 경우 Burnout 특

성이 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 반대로 고수분탄이 혼소된 Case2와 Case3의 경우 이 두 조건이 서로 유사한 연소특성을 보이며 연소하는 것을 확인할 수 있다. 버너부에서는 18m, 24m 부근의 두 곳에서 Burnout이 활발한 특징을 보이는데, 18m 부근에서 고수분탄이 혼소된 Case2, Case3은 연료소모가 낮으며 버너부 전체적으로는 고수분탄만 혼소한 Case2의 연료 소모가 가장 낮은 것을 확인할 수 있다. 따라서 고수분탄 사용은 안정적인 점화 및 연소가 중요한 버너부에서 미분탄의 연소성을 저감시킬 수 있음을 알 수 있다. 하지만 OFA 영역 이후부터는 고수분탄이 혼소되는 Case2와 Case3의 Burnout 정도가 Case1과 Case4에 비해 높은 특징을 보인다. 이를 통해 OFA 영역이후로 버너부에서 반응하지 못한 연료들이 반응하며 후부연소가 발생함을 확인할 수 있고, 고수분탄 혼소비가 높은 조건에서 더 높은 Burnout 정도를 보이므로 연소되는 석탄의 수분함량 정도가 비례적으로 연소 불안정에 영향을 미치고, 비회(Fly ash)에 포함된 LOI (Loss of Ignition)을 높일 수 있을 것으로 유추할 수 있다.

Fig. 5는 OFA부터 수열부 진입 전까지의 가스온도 결과를 보여주고 있다. 건조석탄만 혼소한 Case4의 경우 수열부 진입까지의 온도 분포는 Case1과 같은 특징을 보이지만, 고수분탄이 혼소되는 Case2와 Case3은 Case1 조건 대비 100-200K 정도 높은 온도결과를 보인다. 1600-1700K 정도의 고온 가스는 설계 기준인 1470K 보다 높아 열교환 튜브를 파손시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

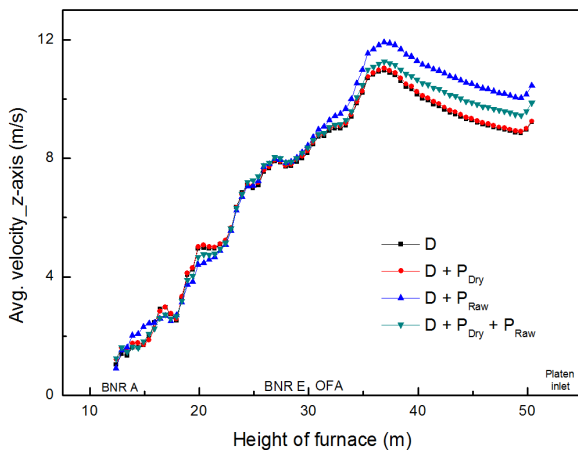


Fig. 3. z-axis direction average velocity corresponding to height of furnace

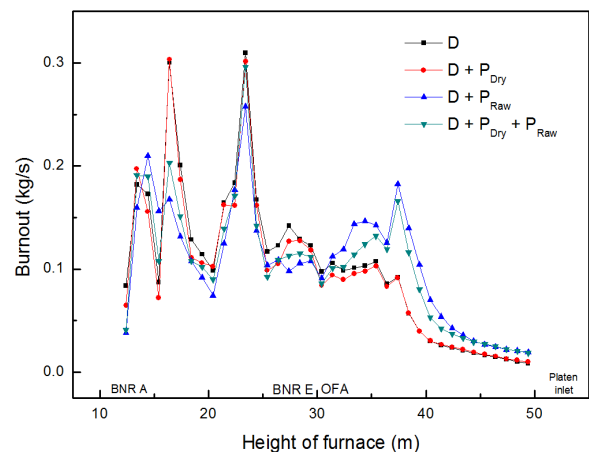


Fig. 4. Particle burnout corresponding to height of furnace

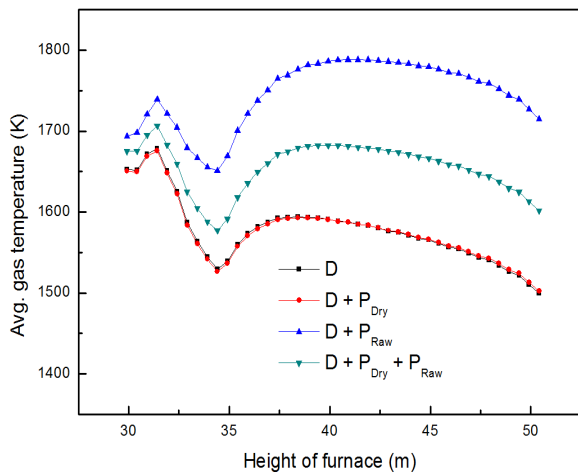


Fig. 5. Average gas temperature corresponding to height of furnace

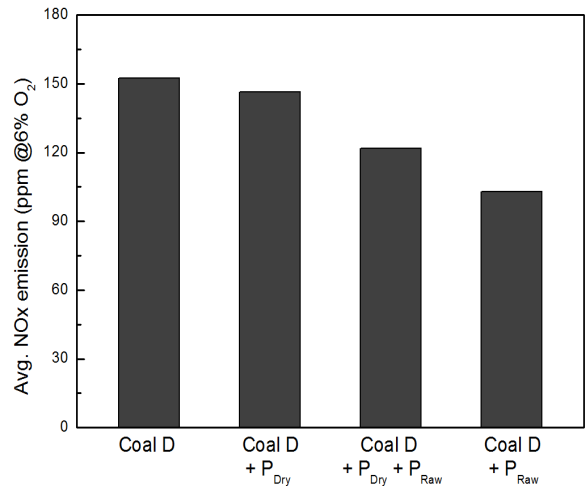


Fig. 6. Average NOx emissions at economizer outlet

3-2-3. NOx 배출 특성

Fig. 6은 보일러 ECO 후단에서 각 조건별 NOx 수치를 보여주고 있다. 건조석탄을 혼소한 Case4의 경우 NOx 수치가 146.4ppm으로 Case1과 6ppm 정도의 차이를 보이며 비슷한 NOx 배출 특성을 보이고 있고, 건조석탄 대신 고수분탄의 혼소율을 높임에 따라 NOx 배출은 뚜렷하게 낮아지는 특징을 확인할 수 있다. Fig. 7은 보일러 높이 방향을 따라 평균 NOx 수치를 나타내고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Coal D 전소조건(Case1)과 건조석탄을 혼소하는 경우(Case4) 초기 버너영역에서부터 높은 NOx 수치를 보이고 있으며, 버너영역 상부의 OFA에 의한 다단연소에 의해 더 이상 NOx 수치는 증가하지 않고 일정한 값으로 후단까지 유지되는 것을 확인할 수 있다. 반대로 고수분탄이 혼소되는 계산조건들(Case2, Case3)에서는 초기 버너 영역에서 NOx 수치가 100ppm 이하의 값을 갖지만 OFA 영역 이후로 급격하게 NOx 수치가 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8은 보일러 높이에 따른 NOx rate을 보여주고 있다. 0 kgmole/m³-g을 기준으로 양의 값은 NOx 생성을 나타내고, 음의 값은 NOx 분해를 나타낸다. 버너부에서 NOx 생성은 모든 조건에서 비슷한 특징을 보이지만 NOx 생성율의 Peak point는 Coal D 전소(Case1)와 건조석탄을 혼소하는 조건(Case2)에서 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 반대로 버너부에서 NOx 분해는 고수분탄이 혼소되는 2가지 조건(Case2, Case3)에서 활발한 것을 알 수 있으며, OFA 영역 이후로는 모든 조건에서 NOx 분해 영역이 나타나지 않는다. 이러한 이유는 연소 반응시 주

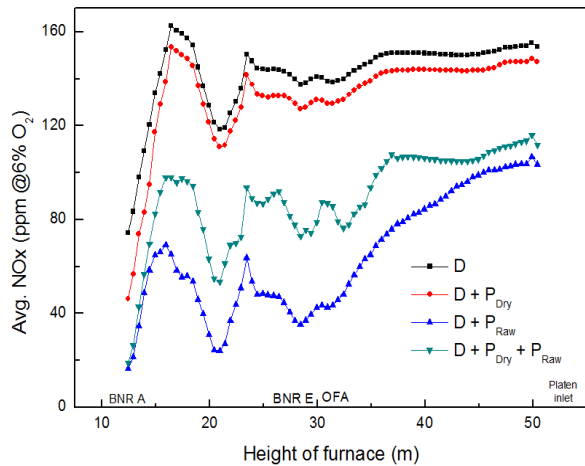


Fig. 7. Average NOx fraction corresponding to height of furnace

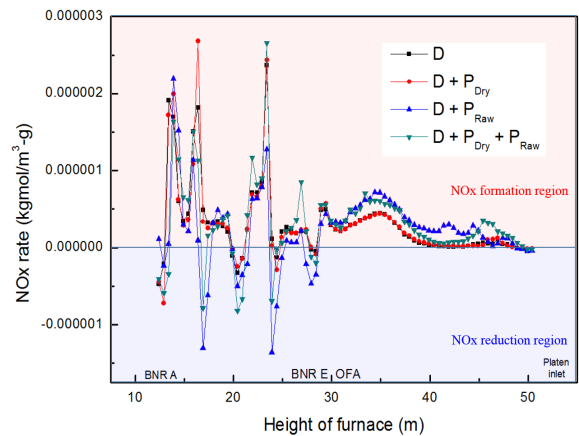


Fig. 8. NOx rate corresponding to height of furnace

위 O₂ 분율에 대한 영향으로 설명할 수 있다. 본 연구에서 모든 조건의 전체 당량비는 같지만 고수분탄을 연소하는 경우 초기 연소영역에서 석탄 내 수분의 증발로 인해 수분이 차지하는 분율이 높아져 상대적으로 O₂ 분율은 감소하게 되고 이로 인해 NO_x 생성은 낮고 NO_x 분해율은 높은 특징을 보이게 된다. 따라서 Fig. 6에서의 결과와 같이 보일러 출구에서 고수분탄 연소 조건의 최종 NO_x 수치는 가장 낮은 값을 가지게 된다. 하지만 OFA 영역 이후에서는 높은 NO_x 생성율을 보이는데, 이는 석탄 입자의 후부연소에 기인한 Fuel NO_x와 Thermal NO_x 생성 영향으로 판단된다. 또한 이렇게 OFA 이후에서 NO_x 수치가 높아지는 현상은 다단연소를 통해 버너부에서 생성된 NO_x를 OFA 영역 이전까지의 Reduction 구간동안 NO_x를 분해하는 기존 Air staging 효과를 줄일 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 미분탄 화력보일러에서 건조석탄과 고수분탄 사용시 연소 및 배기배출 특성에 미치는 영향을 전산해석 기법을 통해 분석하였다. 표준화력보일러 설계 조건의 성능데이터를 기준으로 보일러 해석 모델 결과를 비교·검증하였다. 보일러 내 유동특성을 고려했을 때, 고수분탄 사용이 증가할수록 증발된 수분의 영향으로 상승하는 가스 속도는 빨라지고 이는 미분탄의 노 내 체류시간을 감소시켜 연소성에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 연료의 연소성 측면에서 고수분탄을 사용하는 경우 버너부에서 연료의 Burnout은 감소하고, OFA 이후부터 급격한 연소반응에 의해 열교환기로 진입하는 가스 온도는 증가하는 결과를 확인하였다. 반대로 건조석탄을 사용하는 경우 역청탄인 Coal D를 연소하는 조건과 비슷한 연소특성을 보여 연소측면에서 연료의 안정성을 확인할 수 있었다. 노 내 NO_x 수치 측면에서 고수분탄이 혼소되는 경우 버너부에서 NO_x 생성은 낮지만, OFA 이후에서는 급격히 NO_x 생성이 높아지는 결과를 보였으며, 수분 영향에 의해 전체 NO_x 배출량은 감소하지만 표준화력 보일러의 NO_x 저감을 위한 Air staging 효과는 줄일 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 고수분탄 및 건조석탄 혼소에 따른 연소 및 배기배출 특성을 확인하였으며, 고수분탄을 건조하여 화력보일러에 적용하면 보일러 설계에 가까운 연소특성을 가지며, 고수분탄 사용 시 발생할 수 있는 연소 지연에 의한 보일러 튜브 손상과

연료 공급량 감소로 미분기 과부하를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2016년도 KIER 주요사업으로 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다.

References

1. BP, 2015, BP Statistical Review of World Energy June 2015, BP, pp.42
2. IEA, 2014, Coal information 2014, International Energy Agency, pp.43-57
3. Blaine W. Asay, L. Douglas Lahjaily and Paul O. Hdeman, 1983, Effect of Coal Moisture on Burnout and Nitrogen Oxide Formation, Combustion Science and Technology, Vol. 35, pp. 15-31
4. Bosoaga A., Panoiu N., Mihaescu L., Backreedy R.I., Ma L., Pourkashanian M., Williams A., 2006, The Combustion of Pulverized Low Grade Lignite, Fuel, Vol. 85, pp. 1591-1598
5. Kim S. G., Lee S. H., Rhim Y. J., Choi H. K., Lim J. H., Chun D. H., and Yoo J. H., 2012, Drying Characteristic of High Moisture Coal using a Flash Dryer, Korean Chem. Eng. Res., Vol 50, No. 1, pp.106-111
6. Ahn S. G., Kim J. W., Kim G. B., Lee S. H. and Jeon C. H., 2016, Study on the Unburned Carbon and NO_x emission of High Moisture Coal, KOSEE, Vol. , No. , pp. 0-00
7. Sal Gollakata, 2007, Demonstration of a Lignite Fuel Enhancement System, NETL
8. S. Badzioch and P. G. W. Hawksley, 1970, Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles, Ind. Eng. Chem. Process Design and Development, Vol. 9, pp. 521-530
9. M. M. Baum and P. J. Street, 1971, Predicting the Combustion Behavior of Coal Particles, Combustion Science and Technology, Vol. 3, pp. 231-243
10. F. Winter, C. Wartha, G. Loer and H. Hofbauer, 1996, The NO and N₂O Formation Mechanism during Devolatilization and Char Combustion un-

der Fluidized Bed Conditions, In 26th Symposium
(International) on Combustion, Vol. 26, No. 2, pp.
3325-3334

11. ANSYS, 2016, ANSYS Fluent User's Guide,
ANSYS Inc