

500MW급 화력발전 보일러의 석탄회 연소 시뮬레이션[§]

황민영* · 전충환** · 송주현* · 김규보** · 김승모** · 박명석***

* 부산대학교 기계공학부, ** 화력발전 에너지 분석기술센터, *** 남부발전 하동화력본부

Coal Ash Combustion Simulation for 500-MW Coal-firing Boiler

Min Young Hwang*, Chung Hwan Jeon**, Ju Hun Song*, Gyu-Bo Kim**,
Seung Mo Kim** and Myung Suk Park***

* School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.,

** Pusan Clean Coal Center.,

*** Hadong power plant, Kospo

(Received July 5, 2010 ; Revised June 29, 2011 ; Accepted July 7, 2011)

Key Words: Ash(회), Boiler(보일러), CFD(전산유체역학), LOI(점화감소량), TGA(열중량분석), DTF(수직형 전기로)

초록: 석탄은 고정탄소분, 휘발분, 수분, 회로 구성되며, 연소시 회성분과 소량의 고정탄소분이 남게 된다. 석탄 화력 발전소에서는 석탄연소 후 나오는 잔여물(고정탄소분, 회)를 통칭하여 석탄회 라고 부르고 있다. 현재 발전소에서는 정제회(LOI함량 6%미만)는 경량골재의 원료로 재활용해 수익을 창출하고 있으나, LOI함량이 높은 회는 재활용이 불가능해 땅에 매립하고 있다. 이에 따라 환경적인 부담금을 줄이고 정제회 판매의 수익을 올리기 위해 회성분의 LIO감량은 필수적이다. 본 연구에서는TGA(Thermo-gravimetric analysis)와 DTF(Drop tube furnace) 실험을 통해 석탄과 석탄회 연소를 위한 실험적인 상수 값을 결정하였다. 500MW급 표준화력발전 보일러를 모델링하고, 전산해석을 위해 격자를 형성시키고 적절한 해석 모델을 선정하였으며, 석탄회 재연소 시뮬레이션을 수행하여 석탄회 투입시 보일러 내부의 온도 및 유동을 모사하였다. 보일러 내부 석탄 입자와 회입자의 이동 궤적을 통해 가능한 높은 버너 위치에서 석탄회를 투입하는 것이 적절함을 나타내었다. 또한 실제 설치 가능한 D 버너에서 6ton/h로 공급시에 기존의 보일러에 큰 영향을 주지 않으며 재연소 가능성을 알 수 있다.

Abstract: In thermal power generation companies, the recycling of refined ash (LOI < 6%) obtained from a PC-firing furnace is beneficial for the companies, e.g., it can be used for making lightweight aggregates. However, ash having a high LOI, which cannot be reused, is still buried in the ground. To obtain refined ash, the re-burning of high-LOI ash (LOI > 6%) in a PC-firing furnace can be an alternative. In this study, a numerical analysis was performed to demonstrate the effects of ash re-burning. An experimental constant value was decided by TGA (thermo-gravimetric analysis), and a DTF (drop-tube furnace) was used in the experiment for calculating the combustion of ash. On the basis of the trajectory of the moving particles of coal and ash, it was concluded that supplying ash near the burner, which is located high above the ground, is appropriate. On the basis of numerical results, it was concluded that an ash supply rate of 6 ton/h is suitable for combustion, without affecting the PC-firing boiler.

- 기호설명 -

ρ : 밀도(kg/m^3)

\vec{v} : 전체 속도 벡터(m/s)

S : 전체 엔탈피(J/K)

p : 압력(Pa)

E : 전체 에너지(J)

h : 종 엔탈피(energy/mol)

g : 중력가속도(m/s^2)

Y : 질량분율(dimensionless)

R : 반응률(units vary)

m_v : 휘발분 질량(kg)

m_c : 최 질량(kg)

f : 혼합분율(dimensionless)

§ 이 논문은 대한기계학회 2010년도 부산지회 춘계 학술대회(2010. 5. 7., 신라대) 발표논문임

† Corresponding Author, chjeon@pusan.ac.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

- k : 반응속도 상수(units vary)
- A : pre-exponential 상수
- E_a : 활성화에너지(kJ/kg)
- D_0 : 질량 확산 계수(m^2/s)
- T_p : 입자온도(K)
- d_p : 입자직경(mm)

1. 서 론

석탄은 고정탄소분 휘발분 수분 그리고 회 성분으로 이루어져 있으며, 연소후 소량의 고정탄소분과 함께 회성분이 남는다. 발전소에서는 연소후 남은 이 두가지 성분을 석탄회 라는 용어로 통칭하여 부르고 있으며, 석탄회 성분중 미연탄소분의 함량을 점화감소량(Loss of Ignition) 즉 LOI라고 축약하여 부르고 있다. 화력발전소에서 배출되는 석탄회 중 정제회(LOI<6%)는 발전소에서 반출되어 경량골재의 원료로 재활용되어 발전소 수익창출에 기여를 하고 있다. 그러나 LOI함량이 높은 석탄회의 경우는 재활용이 불가능하여 회사장에 매립되고 있고 그에 따라 환경부담금이 경제적 손실을 가져오고 있다. 따라서 화력발전소에서는 고미연탄소분을 포함하고 있는 석탄회의 정제기술을 통해 발생하는 석탄회의 전량을 재활용하는 것을 목표로 하고 있으며, 이러한 목표에 적합한 석탄회 정제기술이 필요한 실정이다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 한가지 방안으로 화력발전 보일러에 석탄과 함께 고미연분의 석탄회를 투입하여 연소시킴으로써, 미연탄소의 이용을 최대화 하고, 정제회를 얻는 방법을 생각해 볼 수 있다. 석탄회의 재연소 방법은 크게 두가지로 시스템을 생각해 볼 수 있다. 첫번째는 석탄과 함께 석탄회를 혼탄하여 기존의 포트에 공급하는 형태이며,^(1,2) 두번째는 석탄 공급과는 별개로 다른 위치에서 석탄회만 공급하여 연소시키는 형태이다.⁽³⁾ 전자와 후자 모두 보일러 내에서 일어나는 연소현상에 대한 파악이 필요하며, 전체 석탄대비 석탄회의 공급비율, 투입속도, 투입공기량 등에 대한 정확한 이해가 필요하다. 이에 따라 보일러 내의 온도와 유동 현상을 파악하는데 있어 경제적, 실험적인 이유로 Pilot scale 문제에 제시되는 방법은 CFD를 통한 수치적 접근방법이다. 본 연구에서는 전산수치해석을 통해 석탄회 재연소시 석탄회 공급량에 따른 보일러

내에서 일어나는 여러 현상에 대한 모사와 분석을 통해, 석탄회 재연소의 가능성을 평가하고자 한다.

2. Boiler modeling

2.1 지배방정식

석탄의 에너지는 휘발분과 고정 탄소분의 발열량에 기인한 것이며, 이에 따라 보일러 내부 연소는 석탄에서 탈휘발된 휘발분 성분의 기체연소와 고정 탄소분인 좌의 고체연소로 구분할 수 있다. 그러므로 먼저 석탄의 반응 메커니즘을 이해하는 것이 필요하며, 본 연구에서 사용된 반응 메커니즘을 Fig. 1에 나타내었다. 석탄 연소반응에서 중요한 부분은 탈휘발 반응속도 상수와 좌성분의 반응속도 상수를 선정하는 것이다. 석탄과 함께 산화제가 고온에 노출되면, 탈휘발 반응속도상수에 의해 석탄이 가진 휘발분이 시간에 따라 기체상으로 방출되며 산화제와 반응하여 기체 연소를 하게 된다. 안정화된 보일러 내부의 온도는 1400K 이상의 고온이므로 기체상인 휘발분의 연소 반응은 아주 빠르게 일어난다. 기체상의 빠른 연소에선 반응속도가 확산에 의한 영향이 더 크므로 Eddy dissipation 연소모델을 선정하여 2단계 총괄반응식을 통한 기상연소 반응식을 풀게 된다. 탈휘발 속도상수는 Two-competing rate model을 사용하여 입자가 겪게 되는 온도영역에 따라 보정된 탈휘발율을 고려하였다. 다른 한편으로 석탄이 고온상태에서 산화제와 만나면 고정탄소분의 연소가 일어나며 CO2를 발생하는 좌연소를 하게 된다. 좌는 저온영역에서는 확산의 영향이 지배적인 반응률을, 고온영역에서는 고체입자 표면에서의 반응이 지배적인 반응률을 보인다. 본 연구에서는 이 두가지 반응률을 모두 고려하는 Kinetic /diffusion limit model을 선정하였다. 기체상과 고체상 간의 질량 및 에너지 전달을 위해서 기체상의 부피에 비해 고체연료의 비율이 작을 때 적절한 Euler-Lagrangean 방법의

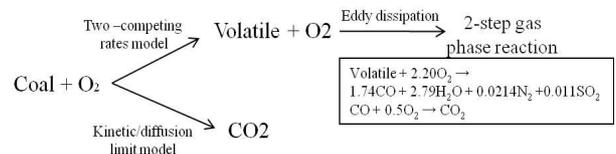


Fig. 1 Coal reaction mechanism in simulation

Table 1 Governing equation in boiler simulation

General governing equation	
<p><i>Mass</i></p> $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m$ <p><i>Momentum</i></p> $\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nu g + \vec{F}$	<p><i>Energy</i></p> $\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = -\nabla \cdot (\sum_j h_j J_j) + S_h$ <p><i>Species</i></p> $\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i$
Coal reaction equation	
<p><i>Devolatilization</i></p> $\frac{m_v(t)}{(1-f_{v,0})m_{p,0} - m_a} = \int_0^t (\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2) \exp\left(-\int_0^t (k_1 + k_2) dt\right) dt$ $k_1 = A_1 e^{-(E_1/RT_p)} \quad k_2 = A_2 e^{-(E_2/RT_p)}$	<p><i>Char combustion</i></p> $\frac{dm_p}{dt} = -A_p p_{ox} \frac{D_0 k}{D_0 + k}$ $D_0 = C_1 \frac{[(T_p + T_\infty)/2]^{0.75}}{d_p} \quad k = C_2 e^{-(E/RT_p)}$

Table 2 Approximate and Ultimate analysis results of ash and coal sample

	Ash sample	Coal
<i>Proximate analysis (% by mass, as received)</i>		
Moisture	-	10.1
Volatile matter	-	38.3
Ash	94.0~91.0	1.2
Fixed carbon	6.0~9.0	41.4
<i>Ultimate analysis(%by mass, dry basis)</i>		
C	-	85.0
H	-	9.4
O	-	4.0
N	-	1.0
S	-	0.6
<i>Heating value (kcal/kg)</i>	700~1200	5700

DPM(discrete phase model)을 선정하였으며 이에 따른 질량보존, 모멘텀 보존, 에너지보존, 화학종 보존에 관한 방정식을 고려하였다. 보일러 해석에서 가장 중요한 열전달 모드인 복사모델은 계산시간의 소모를 최소화 하면서 가장 대략적인 결과를 얻을 수 있는 P-1 모델을 이용하였다. 본 연구에 사용된 수치해석 지배방정식을 Table 1에 정리하였다.

2.2 3D 모델링

Full scale 의 화력발전 보일러를 모델링 하였으며, 연소현상이 일어나는 내부 체적을 선정하고, Fig. 1과 같이 수치해석을 위한 mesh 작업을 수행하였다. Mesh 개수는 100만개로 구성하였으며, 연소현상을 모사할 수 있도록 Hexa 격자로 생성

하였다. 석탄 연소용 500MW급 보일러는 석탄이 공급되는 A~F 버너와 OFA로 구성되어 있으며, 석탄회 공급을 위해 각 버너의 관측창 높이가 위치에 석탄회 공급 포트를 구성하여, 공급위치에 따른 연소효과 볼 수 있도록 하였다. 포트는 실제 보일러에 구성되어 있는 관측창의 크기와 동일하게 구성하였고 격자형성을 위해 동일한 넓이의 사각단면으로 대체하였다. 전산수치해석 프로그램은 Fluent v12를 이용하였으며, 각 버너의 석탄 및 공기 공급량과 시뮬레이션 조건은 실제 화력 발전소에서 500MW 출력을 유지하는 운전하는 조건을 사용하였다.

3. Experiment

신뢰성 있는 석탄 연소 시뮬레이션을 위해선 공업분석과 원소분석과 같은 탄에 대한 고유한 물성치와 고체연료 연소에서 중요한 반응속도 상수를 결정하는 것이 필요하다. Table 1의 탈휘발율과 화 연소에 대한 방정식에서 반응속도 상수 값은 탄종/성분/구조에 따라 다르게 나타나므로 이는 실험적인 방법으로 구해야 한다. 본 연구에서는 보일러 내에서 석탄회를 재연소 할 때 공급된 회의 영향을 정성적으로 파악하는데 목적이 있으므로, 석탄의 반응속도 상수는 기존 연구자들이 실험적으로 구한 값을 이용하였으며, 석탄회의 경우 이에 대한 정보가 없으므로 DTF를 통해서 석탄회의 반응속도 상수를 도출하였다.

3.1 TGA(Thermo-gravimetric analysis)

Table 2에는 시뮬레이션을 위한 연료의 공업분

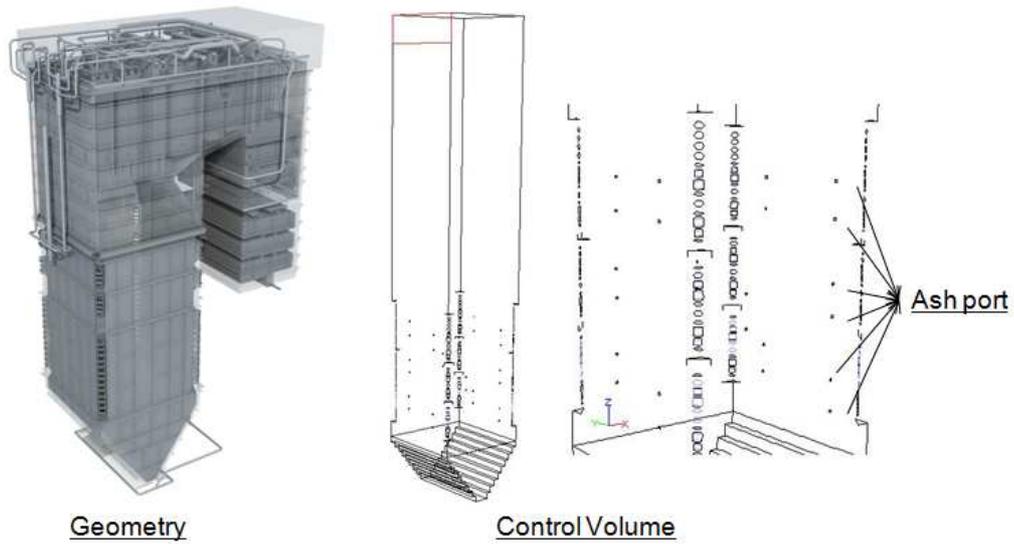


Fig. 2 Geometry of 500MW PC-boiler and ash supply port

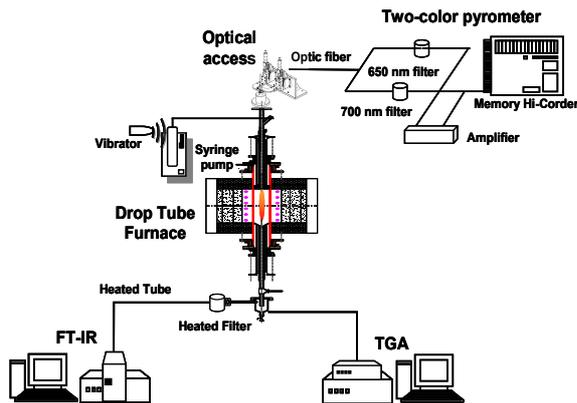


Fig. 3 Schematic of DTF experiment

석, 원소분석, 발열량 값을 나타내었다. TGA 실험은 SINCO사의 SDT Q600 모델을 사용하여 ASTM D3172 기준으로 도출하였으며, 원소분석은 LECO사의 Tru-Spec 모델을 사용하여 ASTM D3176 기준으로 구하였다. 발전소의 회 저장소에서 나온 수많은 샘플의 공업분석 결과를 토대로 정제회로 사용할 수 없는 LOI 8%의 샘플을 확보하여 DTF를 이용한 연소특성 분석을 위한 시료로 사용하였다.

3.2 DTF(Drop tube furnace) 실험

석탄의 반응성은 크게 정적특성과 동적특성으로 구할 수 있다. 정적특성은 TGA와 같이 일정한 양의 시료를 온도를 승온시키며 질량감량과 생성가스를 측정하므로 파악하는 것이고, 동적특성은 DTF를 이용해 일정한 양의 석탄입자를 지

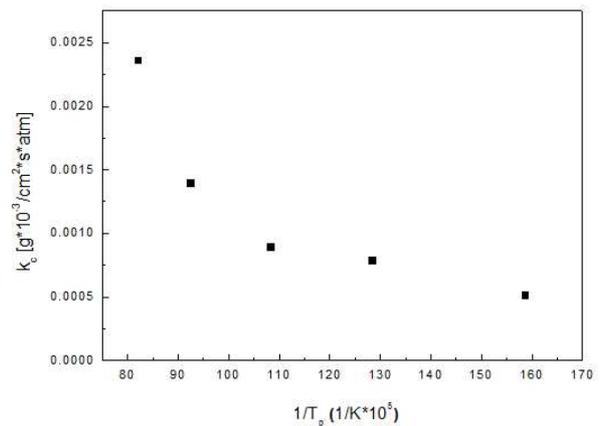


Fig. 4 Reaction rate of ash (unburned carbon 8%)

속적으로 상부에서 하부로 공급하며 생성 가스를 분석 하므로, 석탄의 반응성을 측정하는 것이다. DTF 실험은 석탄입자가 노출되는 온도 조건을 실제 보일러 내부와 유사하게 구성하므로, 실제와 가장 유사한 반응특성 결과를 얻어낼 수 있으며, Optic-fiber와 Two-color pyrometer를 통해 관측과 계측이 불가능한 보일러 내부의 반응을 유추할 수 있다. 반응후의 생성가스를 FT-IR로, DTF 실험 후 잔여입자의 미연탄소분을 TGA로 분석하여 각 온도영역에 따른 화 질량의 반응성에 대한 그래프를 구할 수 있다. Fig. 3은 DTF 실험의 개략도를 나타내었다. 실험의 자세한 진행방법 및 조건과 계측법 그리고 수식을 통한 결과값 유도방법은 참고문헌(4)에 자세히 나타나 있다. 석탄회는 공업분석 결과 6~9%의 높은 LOI를 함량한

샘플중 8% 함량 시료를 선택하여 실험을 수행하였다. 실험결과값 도출에 있어서 회를 고정탄소분을 8% 함량하고 수분 및 휘발분이 없는 석탄으로 가정하고 좌-산화로 가정하여 결과를 도출하였다. Fig. 4에는 DTF 실험으로 얻은 석탄회의 산화 반응률에 대한 그래프를 나타내었다. 그래프를 선형화 하고 기울기 값을 통해 석탄회에 대한 활성화 에너지 E_a 와 Pre-exponential A 값을 도출하였으며, 이 값을 공급되는 회의 산화반응 속도 상수값으로 시뮬레이션에 사용하였다.

4. 시뮬레이션 결과

Table 3에는 시뮬레이션을 위해 사용된 경계조건값과 기존의 선행연구자들이 실험을 통해 구한 석탄의 탈휘발 및 좌산화 반응속도 상수값 그리고 회 연소를 위해 DTF 실험에서 도출된 회 산화반응 속도 상수값을 정리하였다.

4.1 석탄 입자 궤적을 통한 Ash 공급위치 결정

보일러에 영향을 미치지 않으며 석탄회의 미연탄소분을 효과적으로 연소하기 위한 회 공급 위치를 찾기 위해 각 노즐에서 분사된 미분탄과 석탄회의 거동의 입자궤적을 분석하였다. Fig. 5는 기존의 보일러 운전조건에서 A버너와 F 버너에서 분사된 입자 궤적 정보를 좌와 입자표면 산소분압에 대해 나타낸 것이다.

먼저 좌에 대한 정보를 보면, 초기에 분사된 연료는 약 41%의 좌 함유량을 가지고 있다. 이는 공업분석 값에 의존한 전체 질량중의 고정탄소분에 기인한 것이며, 탈휘발 과정을 거치며 미분입자가 함유한 휘발분이 감소하는 만큼 미분입자 내의 좌가 차지하는 비율은 급격히 상승한다. 탈휘발 과정이 완료된 미분입자의 좌 비율은 최대 85% 까지 상승하며 좌가 0%에 도달했다는 것은 미분탄의 모든 탄소분이 소모되어 Ash만 남았음을 나타낸다. A 버너에서 분사된 연료의 경우 보일러 바닥으로 한번 하강하고 보일러의 중심 즉 화염구가 생성되는 영역을 따라 나선형으로 상승해 올라간다. 하지만 F 버너에서 공급된 연료의 경우 보일러 중앙 보다는 내벽 쪽으로 크게 나선형을 그리며 상승하고 있다. 동일한 일차공기와 이차공기 속도를 가짐에도 불구하고 이러한 궤적의 차이가 나타나는 원인은 공급된 공기의

Table 3 Input parameter value for simulation

Input parameter	
<i>Boundary condition</i>	
Coal (ton/h)	200
Primary air (Nm ³ /s)	87
Secondary air (Nm ³ /s)	272
Boiler wall emissivity	0.9
Coal particle size (μm)	100
Ash particle size (μm)	100
<i>Fly ash kinetic [From DTF experiment]</i>	
Activation energy(kJ/kmol)	2.2*10 ⁴
Pre-exponential factor (g/cm ² -s)(atm)	1.92*10 ⁻²
<i>Devolatilization kinetic [Kobayashi]</i>	
E1(kJ/kmol)	1.046*10 ⁵
E2(kJ/kmol)	1.674*10 ⁵
A1	0.3
A2	1
<i>Char Combustion kinetic [Baum & Street]</i>	
C1	5*10 ⁻¹²
C2	0.002
E(kJ/kmol)	7.9*10 ⁴

밀도하강으로 인해 로내 체적이 증가하고, 또 하부 버너에서 분사된 연료가 상승하는 힘이 크므로 F 버너에서 분사된 연료와 산화제가 보일러 중앙으로 향하는 힘을 약하게 만들기 때문이다. 석탄의 미연탄소분은 고체연료의 체류시간과 입자가 경험하게 되는 산소분압과 깊이 연관되어 있다. A 버너에서 분사된 연료는 F 버너에서 분사된 연료에 비해 긴 체류시간에도 불구하고 보일러 상층부에 도달할 때까지 미연탄소분이 많이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 동일한 궤적에 대한 입자표면의 산소분압에 대한 결과를 통해 설명되어 진다. F 버너에서 분사된 연료는 A 버너 분사연료에 비해 상대적으로 높은 산소분압 환경하에 노출된다. A 버너의 입자경로는 화염구 중앙으로써, 일차공기와 이차공기가 분사된 연료의 급속한 탈휘발과 함께 일어나는 휘발분의 연소를 통해 이미 많은 산소가 소진되어 화염구 내부 중심에 도달하는 산화제량이 부족하다. 이에 비해 F 버너에서 분사된 연료는 F 버너 바로 위에 위치하는 OFA의 공기 공급으로 인해 반응을 할 수 있는 충분한 산화제 공급이 이루어 진다. 이로써 체류시간이 길더라도 연료가 연소하기 위한 산소 분압이 희박한 화염중심부를 따

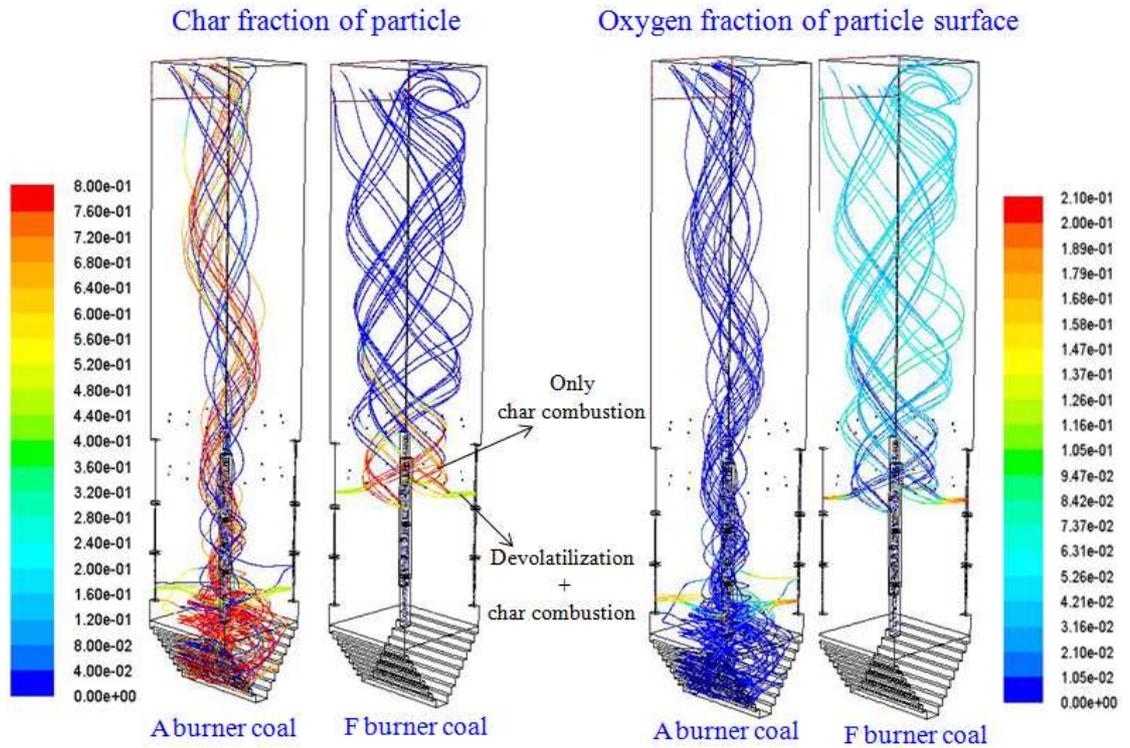


Fig. 5 Particle trajectory when supply 200ton/h coal

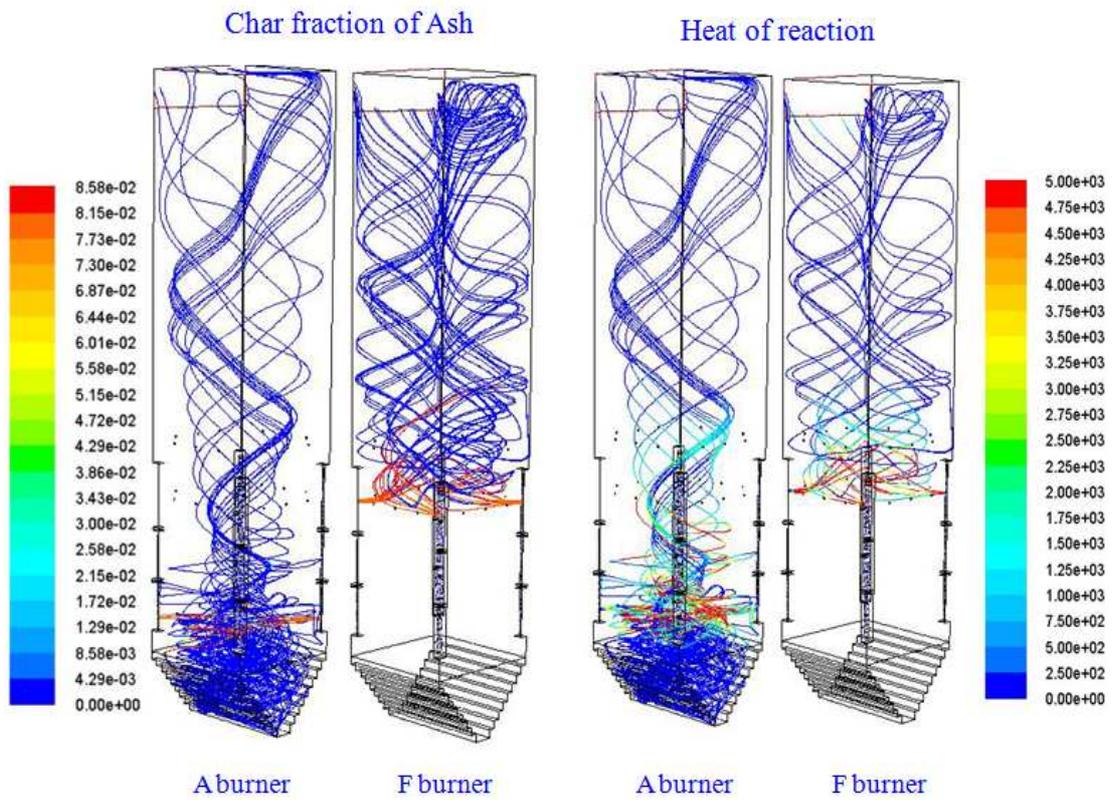


Fig. 6 Particle trajectory when supply 200ton/h coal with 6ton/h ash

라 이동하는 입자가 잘 연소되지 않음을 파악할 수 있다.

Fig. 6은 동일한 보일러 운전조건에서 A 버너와 F 버너에 회를 공급하는 경우 회의 입자궤적에 대해 좌와 입자표면 산소분압에 대해 나타낸 것이다. F 버너에서 분사된 회의 경우 국부적인 산화제 영향으로 인해 더 빠른 시간안에 미연분의 연소가 이루어지며 발열범위도 넓은 것을 알 수 있다. 석탄에 비해 석탄회의 경우 TGA 실험결과 고정탄소분의 함량이 적으며, DTF 실험을 통한 산화 반응물 측정결과 석탄에 비해 활성화 에너지가 작아므로 연소시간이 짧으며, 반응속도가 빠를 것으로 사료되며 입자 궤적을 통한 수치 해석 결과로 미루어 볼 때 가능한 높은 위치에서 연소시키는 것이 더 효과적일 것으로 판단된다.

4.2 Ash 공급량에 따른 보일러 내부 특성

Fig. 7는 기존의 200ton/h로 공급되는 (A~E버너) 보일러와 석탄량을 전체 공급되는 연료량의 2%(4ton/h), 3% (6ton/h)로 D버너 관측창 에서 공급할 때 보일러 내의 온도분포에 대한 단면을 나타내었다. 보일러 바닥에서 약 15m 상부부터 A 버너가 시작되며 총 F까지 6개의 버너로 구성되어 있다. 일반적으로 버너는 A에서 E까지 5개의

층에서 가동이 되며, F버너에서 분사되는 미분탄의 경우 체류시간이 짧기 때문에 탄의 특성에 따라 버너를 선별하여 발전소에서는 운전하고 있다. 미분탄은 일차공기와 함께 473K의 온도로 공급되며, 이차공기는 590K의 온도로 공급되어 미분탄 및 일차공기와 혼합되므로 버너 부근의 온도는 약 500K에서 시작되는 것을 볼 수 있다. 각 버너에서 일차공기와 함께 큰 모멘텀을 가지고 분사된 미분탄은 보일러 내의 복사열전달 효과로 인해 급속하게 탈휘발 과정을 거치게 되고 휘발

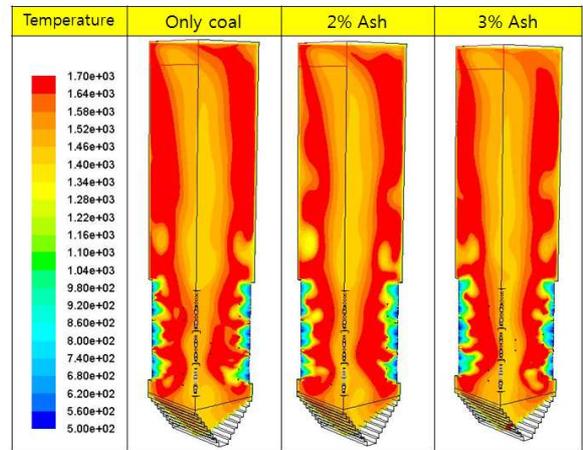


Fig. 7 Temperature distribution with varying ash supplement

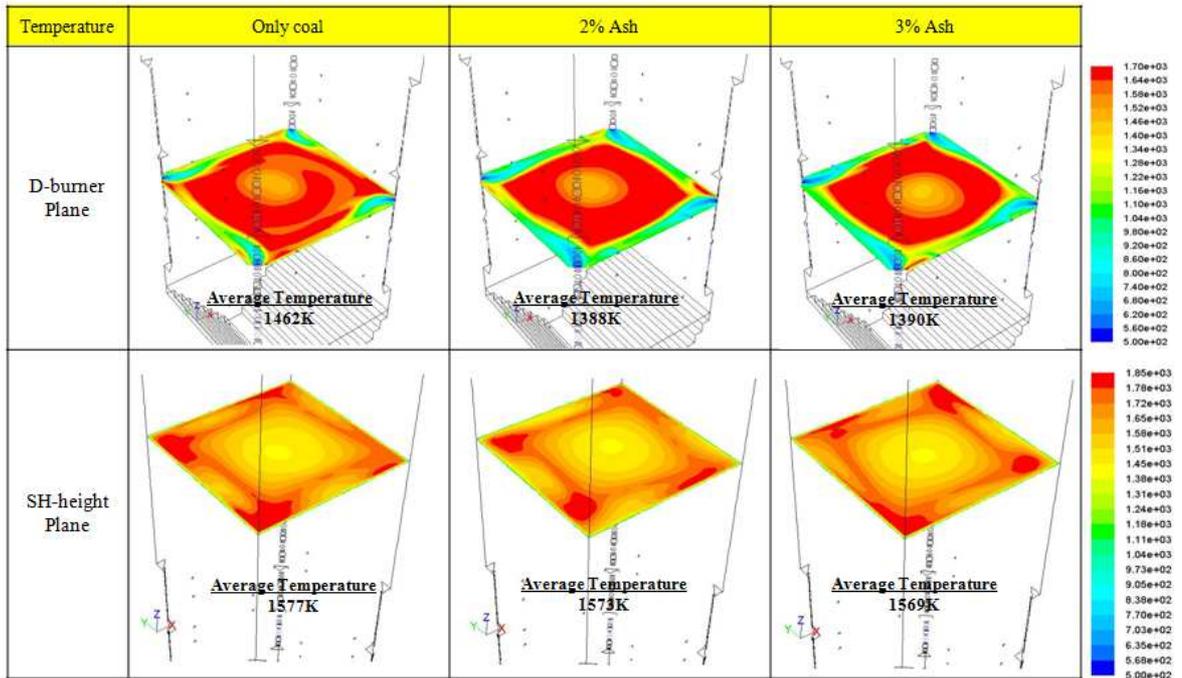


Fig. 8 Temperature distribution of D-burner plane and Hanger super-heater plane

분의 연소와 함께 좌 연소가 일어나 온도가 상승하며 보일러 중앙에 화염구를 형성하게 된다. 해석 결과를 보면 보일러 가장 가운데의 화염구 보다 그 주위가 더 온도가 높은 것을 볼 수 있다. 그 이유는 석탄이 급속히 탈휘발되며 휘발분의 가스연소와 소량이기는 하나 좌의 연소가 동시에 일어나기 때문이고, 또 한가지는 공급되는 공기가 보일러 가운데로 갈수록 희박하기 때문에, 좌 연소 반응이 서서히 일어나기 때문이다. 공급되는 산화제의 모멘텀이 크므로 화염구는 버너쪽으로 이동하지 않고 유지되며, 탈 휘발된 좌 입자는 노즐에서의 모멘텀과 공급된 기체의 밀도하강에 따른 체적상승에 의해 나선형의 궤적을 그리며 부유연소를 한다.

공급위치 시뮬레이션 결과 가능한 높은 위치에서 회를 공급하는 것이 효과적일 것으로 나타났으므로, 실제 보일러에서 가장 높이 설치 가능한 D 버너 측면 위치에서 석탄회를 공급하였다. 시뮬레이션 결과가 보여주듯 석탄회 공급량을 3%까지 상승하여도 보일러 내부의 화염구 형성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. Fig. 8에는 석탄회가 공급되는 D 버너 단면과 hanger super heater 에 도달하기 직전의 단면에 대한 온도분포와 평균온도를 나타내었다. 석탄회는 D 버너 와 동일한 높이의 보일러 벽면에 위치한 관측장에서 전체 보일러 공기 공급량의 0.1%의 공기와 함께 공급된다. 석탄회와 함께 공급된 공기의 냉각효과로 인해 화염구가 기존의 보일러의 화염구에 비해 좀 더 벽면에서 떨어져 위치하는 것을 볼 수 있다. 이로 인해 평면의 평균온도는 70도가량 떨어지게 된다. 그러나 하부에서 기존조건과 회 공급시의 Hanger super heater 직전 평면의 온도분포를 보면 평균온도가 크게 달라지지 않음을 알 수 있다. 그러므로 공급된 회와 추가공기가 보일러에 미치는 부하가 크지 않을 것으로 사료된다.

5. 결 론

석탄회 연소를 위한 반응상수 도출 실험과 보

일러 내 석탄 입자와 회 입자의 운동궤적과 공급량 변화를 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) DTF 실험결과 고미연분 석탄회는 석탄에 비해 활성화 에너지가 작게 나타났으며 이는 석탄에 비해 단위시간당 질량변화율이 크다.

(2) 높이가 낮은 버너에서 분사된 미분연료는 긴 체류시간을 가지지만 산소분압이 낮은 화염구 중앙을 따라 이동하므로 반응이 원활히 일어나지 못하며 고미연분 회의 원인이 된다.

(3) 시뮬레이션 결과 석탄회의 원활한 재연소를 위해 입자 궤적의 산소분압이 높은 가능한 높은 위치에서 공급하는 것이 좋다.

(4) 실제로 설치 테스트 가능한 D버너 관측장에서 전체 공기공급량의 0.1%와 함께 석탄회를 3%까지 공급하는 것은 보일러 내 화염구에 크게 영향을 주지 않는다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다

참고문헌

- (1) Li, S., et. al., 2007, "Optimization of Coal Reburning in a 1MW Tangentially Fired Furnace," *Fuel*, No. 86, pp. 1169~1175
- (2) Wan, H. P., et al., 2008, "Controlled LOI from Coal Reburning in a Coal-Fired Boiler," *Fuel*, No. 87, pp. 290~296.
- (3) Park, H. Y., et al., 2007, "Reburning of Bottom Ash in a Coal-Fired Power Plant and Its Effect on the Plant Management," *Korea Society of Waste Management*, 24, Vol 5, pp. 472~481
- (4) Kim, S. G., et al., 2010, "Experimental Study Characteristic of Char Oxidation and Kinetic Rate in O₂/CO and O₂/N₂ Environment," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 34, No. 12, pp. 1101~1109.