

연소용 공기 공급 불균일을 고려한 발전 보일러내 연소환경 시뮬레이션

고영건* · 최상민** · 김영주**

Computational Simulation of Combustion in Power Plant Boiler According to Un-Even Combustion Air

Young Gun Go, Sangmin Choi and Young-zoo Kim

ABSTRACT

Oil-fired power plants usually use several burners and the combustion air is supplied to each burner through the complicated duct which is called windbox. A windbox should be designed to supply combustion air to each burner evenly but, due to the complicated duct shape, flow distribution in the windbox is unbalanced and uneven supplies of combustion air to each burner are induced by these unbalanced flow distribution in the windbox. These flow patterns tend to make flame unstable, increase the formation of pollutants and lower the overall combustion efficiency. To prevent these disadvantages, flow patterns in the windbox should be investigated for the uniform flow distribution. In this study, computational simulation method was used to investigate the flow distribution in the windbox and measured the velocities at the exit of burners in the real windbox to compare with CFD results. The results show two significant flow patterns. One is that the flow rates of each burner are different from each other and this means that all burners operate in different conditions of air to fuel ratio. The other is that the flow distribution at the exit of each burner is not axi-symmetric although the burner shape is axi-symmetric and this increases the pollutant products like CO.

Key Words : Windbox, Power Plant, Flow Distribution, Combustion, CFD

1. 서 론

중유 화력 발전용 보일러에는 다수의 버너가 보일러 내부에 설치되어 있으며 연료 공급은 Fig. 1과 같은 계통을 통해 이루어진다. 연료의 이송성을 높이기 위해 이송라인 중간에 120℃ 정도로 가열한 뒤 버너로 공급된다. 전체 연료량을 하나의 조절밸브로 총괄적으로 조절하기 때문에 각 버너로 공급되는 연료량은 개별적으로 조절할 수 없는 구조를 국내 일부의 중유 화력 발전소에

서 갖고 있다. 이로 인해 각 버너로 공급되는 연료량이 서로 크게 차이를 보이고 있으며 이는 각 버너의 연소 환경이 버너별로 다르다는 것을 의미하게 된다[1,2].

또한 화력발전에서는 다수의 버너를 사용하기 때문에 연료뿐만 아니라 연소용 공기도 각 버너로 적절히 분배하게 되며, 발전용 보일러에서는 Windbox라는 구조물을 통하여 공급된다. 그 기본 구조는 Fig. 2와 같이 버너가 설치된 보일러의 외벽을 공기가 흐르는 큰 덕트형태의 구조물이 둘러싸여 있는 구조이다. 압입송풍기에서 공급된 공기는 재생식 공기에열기를 통하여 예열된 뒤 Windbox로 투입된다. Windbox내 연소용 공기의 유동을 안정화시키기 위한 Air Foil과 덤퍼가 Windbox내부에 설치되어 있으며 각 버너로

* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처자, smchoi@kaist.ac.kr

** 한전 전력연구원

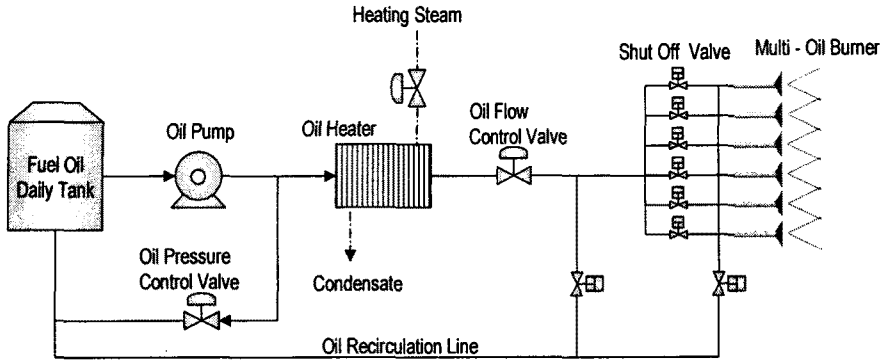


Fig. 1 Schematic diagram of fuel supply system in the oil-fired burner

적절한 양의 공기를 공급하기 위해 다수의 격막에 의해 내부가 구분된다. Windbox의 통상적인 구조는 Fig. 2에서 보듯이 입구에서부터 버너출구까지 유료가 급격히 변하는 부분이 존재하기 때문에 내부유동이 불균일하게 형성되며, 그 결과로 각 버너로 공급되는 공기 유동이 불안정해지게 된다. 또한 Winbox내부에는 각 버너로 공급되는 공기유량을 제어할 수 있는 방법이 없다. 이로 인해 각 버너의 위치에 따라 공급되는 공기 유량이 편차가 발생하게 되며 이런 요인들이 보일러내 연소 환경을 나빠지게 하는 요인이 될 수 있다.

중유화력 발전에 사용되는 버너의 기본적인 형태는 공기 유량을 제어하는 Air register vane, 화염을 안정적으로 유지시키는 Impeller(Flame Stabilizer, 버너의 외관을 구성하는 버너 타일 그리고 연료유를 무화시키는 노즐로 구성된다. 여기에 NOx의 생성을 줄이기 위한 다단연소 방식을 도입하기도 하며 이런 다단 연소에 관한 연구는 Air register vane등에 의해 형성되는 선회강도와 연관되어 Syred[3], 신명철[4] 등에 의해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 중유화력 발전에 사용되는 버너의 형태는 기본적으로 축대칭적인 형상을 하고 있지만 앞에서 언급했듯이 Winbox내부의 불균일한 유동으로 인해 버너로 공급되는 공기는 중심축을 기준으로 비대칭적인 형태로 공급될 수 있다[4].

2. 공기 공급 계통의 불균일성

실제 운전되고 있는 발전용 보일러에서 연소현상에 문제가 발생되면 연료, 버너팁 변형 등 여러 원인들을 검토하여 문제점을 해결해야 한다. 본 연구에서는 이런 여러 가지 원인들 중에서 버너로 공급되는 연소용 공기가 얼마나 균일하게 공급되고 있는가를 확인하고 이런 현상이 보일러

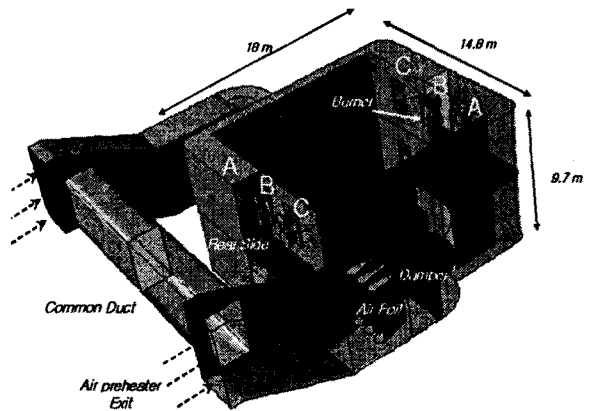
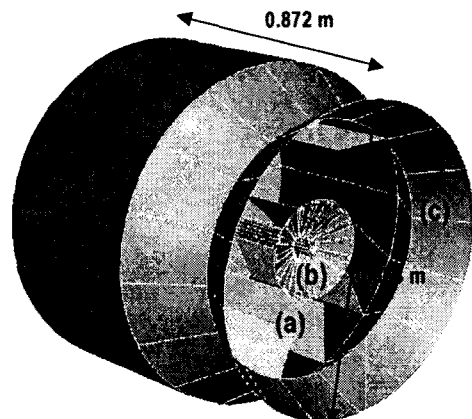


Fig. 2 Outline of a calculated windbox



- (a) : Air register vane
- (b) : Atomizer & Impeller
- (c) : Burner tile & Burner throat

Fig. 3 Burner shape

내 연소에 어떤 영향을 주는가에 대해 연구를 하였다.

앞 절에서도 언급했듯이 다수의 버너가 사용되는 경우에는 각 버너별로 균일한 연소용 공기가 공급되어야 각 버너에서 화염 모양 및 길이, 과잉공기비, 연소효율 및 공해물질 생성을 제어할 수 있게 된다. 단지 각 버너별로 공급되는 공기량뿐만 아니라 버너의 Air register vane별로도 동일하게 공기를 공급해야 버너축을 중심으로 대칭적인 유동형태를 나타내게 되어 연소실내 화염이 안정적으로 형성되게 된다. 이렇듯 저공해 및 화염 안정성 관점에서 Windbox내에서의 유동분포를 균일하게 하는 것은 중요한 요소로 작용하게 된다.[6,7]

2.1 버너별 공급 공기 유량의 불균일성

각 버너별로 공급되는 공기량의 편차가 발생하게 되면 공기가 부족한 쪽의 버너에서는 산화제 부족으로 인해 CO 등의 불완전 연소 생성물이 증가하게 된다. 이를 방지하기 위해서 연소용 공기 공급을 증가하게 되면 다른 쪽의 버너에서는 과잉 공기 공급으로 인한 온도 강하 및 연소 불안정성 등의 영향을 나타내게 된다.[6,7,8]

2.2 개별 버너에서 비대칭적인 공기 유입

버너 내부에서의 유동은 버너 중심축을 기준으로 대칭적인 형태를 보일 때가 화염이 가장 안정적으로 형성되게 된다. 그러나 각 버너로 공급되는 공기 유량이 균일하다고 해도 버너의 Air register vane별로 들어가는 공기량의 편차가 크게 되면 버너 내부에서의 유동형태가 버너 축을 중심으로 찌그러지게 되어 화염 안정성에 나쁜 영향을 주게 된다. 그렇기 때문에 버너 주변으로 들어가는 공기분포가 균일하도록 Baffle 등의 추가적인 장치가 필요하다.

3. Windbox내 유동실험 및 전산해석

실제 발전소의 Windbox에서 실측을 통해 각 버너로 공급되는 공기유량을 파악할 수 있다면 Windbox내 유동분포 및 이로 인한 연소불안정의 원인을 유추할 수 있게 된다. 본 연구에서는 Windbox내의 유동형태를 관찰하기 위해 냉간 조건에서 각 버너로 공급되는 공기 유동형태 및 유량을 전산해석을 통해 확인하고 실제 발전소에서 측정된 실험 결과와 비교 하였다.

이를 통해 확인된 각 버너로 공급되는 연소용 공기의 편차가 보일러내 연소실에서의 연소환경에 어떤 영향을 주는가에 대한 평가를 보일러를 대상으로 전산해석을 통해 확인했다.

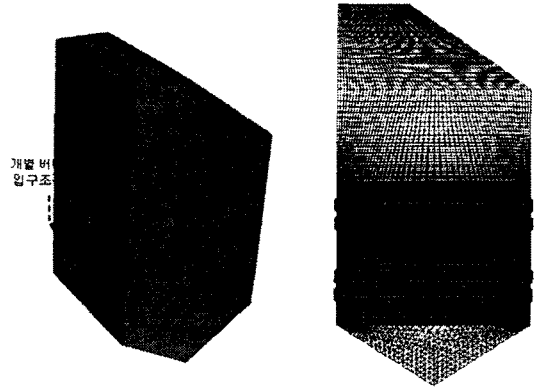


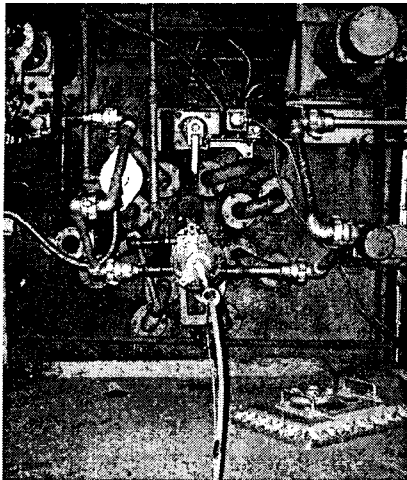
Fig. 4 Simulated boiler shape and grid

3.1 해석 대상 개요

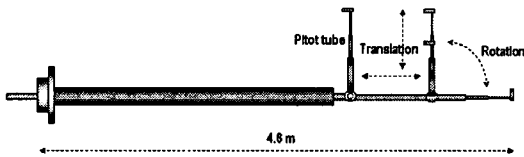
본 연구 대상의 발전소는 중유를 연료로 사용하는 350MW 용량의 보일러가 4기 설치되어 있다. 필요시 LNG를 전소 또는 혼소 방식으로 운영할 수 있으며 연소용 공기는 폐열회수 열교환기에 의해 200°C로 가열되어 Windbox로 공급된다. Windbox로 공급된 공기는 각 버너로 분배되며 연소소에서 연소된 연소가스는 과열기, 재열기 그리고 절탄기를 거쳐 전기 집진기를 통과하여 연도로 빠져나가면 배가스의 일부는 연소실로 재순환된다. 대상 Windbox의 기본 형태는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 연소로 주위를 공기를 공급하는 덕트로 둘러싼 형태로 되어 있으며 상부(1floor), 하부(2floor) 및 Front 그리고 Rear 의 4부분이 격막에 의해 구분된다. 또한 2개의 버너가 상부버너와 하부버너로 하나의 셀을 구성하여 총 12개의 버너셀이 설치되어 있으며 각각의 버너셀은 Winbox 바깥쪽에서 버너셀을 봤을 때 왼쪽부터 A,B,C 의 이름을 갖게 된다. 또한 각 버너셀에서 위쪽의 상부버너는 Upper, 아래쪽의 하부버너는 Lower 버너로 불린다. 그러므로 상부층의 Front면의 왼쪽의 하부버너는 1FAL이라고 불려진다. 버너의 경우는 Fig. 3과 같이 버너 중앙에 Impeller와 연료유를 분사하는 Atomizer가 있으며 버너 내부로 들어오는 연소용 공기의 유량 및 선회도는 Air register vane 개도에 따라 제어가 된다. Windbox를 통해 공급되는 공기는 Fig. 4의 형상처럼 버너가 설치된 연소실에서 연소가 이루어진다[9].

3.2 실험장치

Fig. 5는 실제 발전소에서 각 버너로 공급되는 유량 측정 프로브의 개략도와 실제 버너에 프로브가 장착된 모습을 나타낸 것이다. 프로브는 버너건 대신 버너의 중심축에 삽입하여 프로브 끝을 직각으로 세워 버너 출구 방향의 유속을 측정



(a) Figure of measurement probe



(b) Schematic diagram of measurement probe

Fig. 5 Measurement of flow rate in power plant

할 수 있게 된다. 측정 프로브는 버너의 축방향과 반지를 방향으로 길이 변화를 줄 수 있고 중심축을 기준으로 Fig. 5의 (b)와 같이 회전 때문에 적절한 위치의 유속을 측정할 수 있다.

3.3 실험 및 전산해석 조건

3.3.1 현장 측정 실험

발전소에서의 유속측정은 열간 운전 상태에서는 측정이 불가능하기 때문에 냉간 상태에서 측정을 하였다. 실제 발전소에서 실험을 하는 것은 비용 및 시간제한 등의 이유로 인해 모든 버너에서 유속을 측정하지는 못하였다. 이런 이유로 실제 발전소에서의 유속 측정 실험은 Front쪽 상층부 B열(1FB)과 A열(1FA) 버너셀의 유속만 측정을 하였다. 측정은 발전소의 4/4(100%) 부하에서의 기준 공기 유량 조건하에서 이루어 졌다.

3.3.2 Windbox 유동해석

전산해석은 실제 Windbox 형상에 대해 4/4(100%) 부하 기준에 대해서 Fluent 6.0을 이용하여 해석을 하였으며 난류모델은 Standard $k-\epsilon$ 을 사용하였다. 또한 해석 영역은 Windbox입구에 연결된 곡관 덕트부분부터 버너의 Air register vane 까지를 해석대상으로 설정하였다. 또한 가

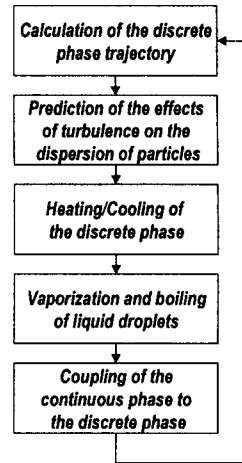


Fig. 6 DPM 개요

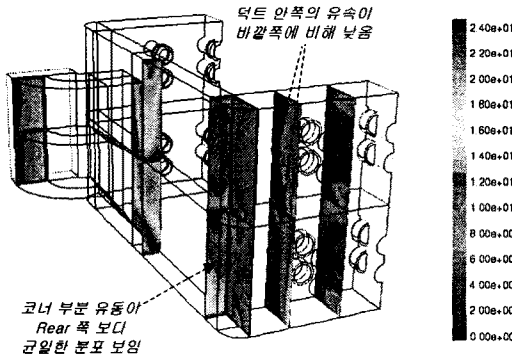
운데 버너를 중심으로 완벽한 좌우 대칭 형태를 보이고 있기 때문에 Symmetric 경계조건을 사용하여 전체 Windbox 중에 1/2 에 해당하는 영역에 대해서만 해석을 하였다.

3.3.3 연소실 연소해석

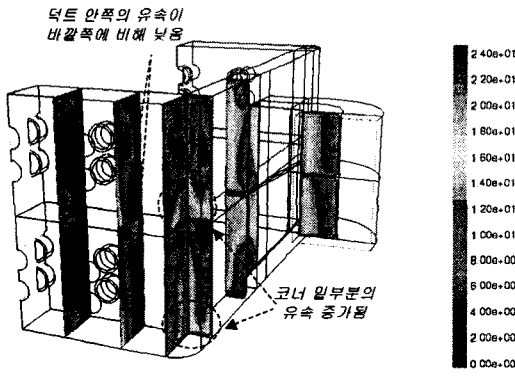
복사 모델은 P-1을 사용하였으며 연소가스내 성분들은 WSGGM 방식을 통해 계산하였다. 증유를 연료로 사용하기 때문에 액적에서 증발된 휘발분이 공기 유동장과 얼마나 혼합이 이루어지는 정도가 연소에 크게 영향을 주기 때문에 확률 밀도함수(Probability Density Function : PDF)를 사용하여 연소해석을 했다. 이 방법은 복잡한 연소반응 모델 대신 연료 분율만을 이용하기 때문에 계산 속도를 증대 시킬 수 있으며 Fluent의 prePDF 4.1을 사용하여 PDF 값을 얻었다. 액체

Table 1. Air flow rate of burners for Case 2

Front Burner		A	B	C
		유량 kg/s	유량 kg/s	유량 kg/s
상부층	upper	11.35	13.42	11.35
	lower	11.36	13.92	11.36
하부층	upper	11.49	13.89	11.49
	lower	10.73	13.65	10.73
Rear Burner		A	B	C
		유량 kg/s	유량 kg/s	유량 kg/s
상부층	upper	11.40	14.07	11.40
	lower	11.11	13.35	11.11
하부층	upper	10.94	13.68	10.94
	lower	9.89	12.89	9.89



(a) Front Side



(b) Rear Side

Fig. 7 Velocity distribution in the windbox(m/s)

연료와 유동장 사이의 열, 물질 전달 처리는 Fig. 6과 같은 DPM(Discrete Phase Model)을 사용하여 계산을 하였다.

해석 Case는 각 버너로 공급되는 유량이 이상적으로 일정하다고 가정한 Case 1과 Winbox 유동해석을 통해 계산된 유량을 적용하여 실제 운전되고 있는 상황과 유사한 조건인 Case 2 두가지 경우에 대해 보일러 연소실내 연소현상을 해석하였다. Case 2의 각 버너로 공급되는 유량 편차는 Table 1과 같다.

4. Winbox내 유동해석

4.1 Windbox 내 유동분포

유동분포를 확인하기 위한 전산해석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이 그림은 Front 쪽과 Rear 쪽에서의 단면 속도 분포를 나타낸 것으로 덕트가 꺾이는 부분들로 인해서 전체적으로 덕트의 안쪽면보다는 바깥쪽에서 빠른 유동 분포를

보이고 있다. 버너가 설치된 덕트로 연결되는 Windbox의 코너 부분에서는 유동이 Rear 쪽의 유동분포가 Front쪽보다는 불안정하며 덕트 아래면 쪽의 유속이 윗면 쪽보다 빠르게 나타나고 있다. 이는 Rear 쪽으로 연결되는 덕트의 길이가 짧아 유동이 균일해 질 수 있는 공간이 Front에 비해 부족하기 때문이다. 또한 입구부분의 덕트가 아래쪽으로 굽어져 있기 때문에 Windbox내에서도 전체적으로 바닥면에서의 유속이 빠르게 분포하고 있다.

4.2 버너셀별 유량 편차

앞 절의 전산해석 결과를 보면 Windbox 내부 단면을 따라 유량 분포가 Windbox의 형상에 크게 영향을 받음을 알 수 있으며 이는 각 버너로 공급되는 연소용 공기량에도 영향을 주게 된다. Table 2는 각 버너셀로 공급되는 유량들의 편차를 나타내었다. 각 버너셀로 공급되는 유량은 전체적으로는 Front쪽으로 더 많은 공기가 공급되는 것을 확인할 수 있으며 Front쪽의 상부층의 버너셀로 조금 더 많은 공기가 공급되는 반면에 Rear쪽에서는 하부층으로 더 많이 공급된다. 각 버너셀 별로 Front쪽에서는 상부층과 하부층 모두에서 B열로 공급되는 유량이 더 크나 Rear쪽에서는 상부층에서는 B열이 하부층에서는 A,C 열로 더 많은 공기가 공급되고 있다.

실제 운전되고 있는 발전소에서의 측정된 결과와 비교하면 버너로 공급되는 공기 유량은 본 연구에서 계산된 전산해석 결과가 실제 상황을 어느정도는 비슷하게 예측함을 확인할 수 있으며, 이는 버너별로 공급되는 공기량의 차이가 비교적 크다. 전체적인 연소효율, 오염물질 생성 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 Windbox 구조적으로 개선할 여지가 많다고 할 수 있다.

Table 2. Air flow rate deviation

원형 전산해석		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	-4.6	12.8	-4.6
	lower	-4.5	17.1	-4.5
Rear 하부층	upper	-8.0	15.0	-8.0
	lower	-16.8	8.4	-16.8
현장실험		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	·	12.51	-1.62
	lower	·	-5.99	-4.9

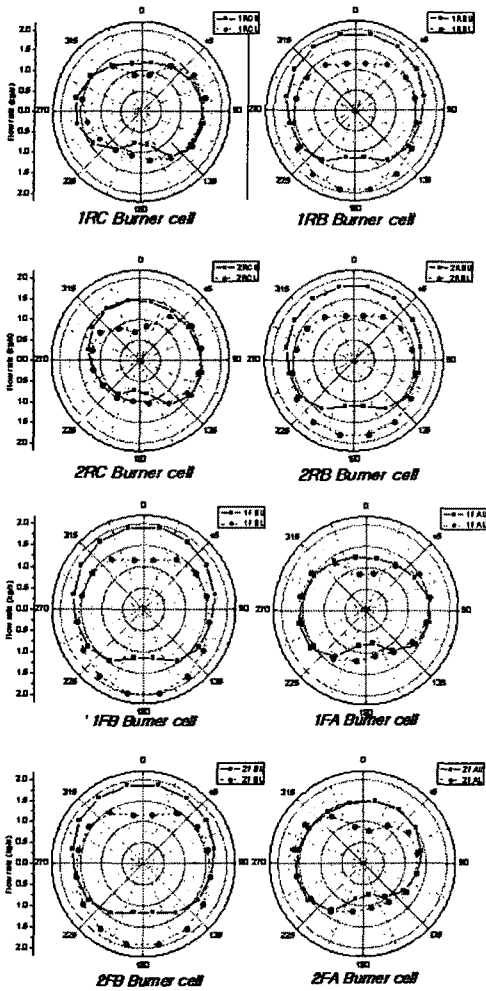


Fig. 8 Air flow shape at the exits of each burner

4.3 개별 버너에서 비대칭적인 공기유입

Fig.8은 전산해석을 통해 각 버너의 Air register vane에서의 공기 유량 분포를 나타낸 것으로 하나의 버너셀을 구성하는 상부와 하부버너를 각각의 그래프에 나타낸 것이다. 모든 버너의 공통적인 특징으로 각 버너 셀의 상부 버너와 하부 버너가 중심축을 기준으로 상하로 대칭적인 유동형태를 보이고 있다. 이는 버너셀 위쪽공간과 아래쪽공간보다 버너셀을 이루는 두 버너사이의 공간이 협소하기 때문에 이 부분으로 유입되는 공기유량은 적고 반대로 버너셀의 위쪽과 아래쪽으로 들어오는 공기유량은 많기 때문에 모든 버너들에서 상부 버너와 하부 버너는 버너셀이 중심축을 기준으로 서로 반대되는 형태의 유량분포를 공통적으로 보이고 있다. 유입되는 공기유

량이 큰 B열 버너의 경우는 버너 상하의 유동차이가 더욱 크게 나고 있다.

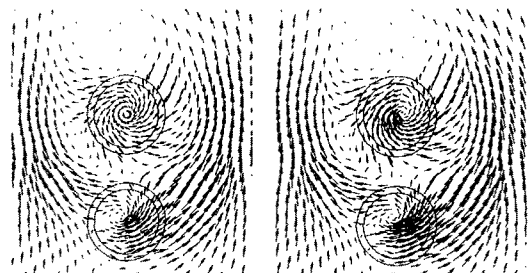
A열과 C열의 버너는 버너 상부와 하부뿐만 아니라 좌우로도 유동이 불균일하게 나타나고 있다. Front쪽의 A열은 버너 중심에서 왼쪽에서, Rear쪽의 C열은 버너 중심에서 오른쪽에서 유입 유량이 크게 나타나고 있다. 즉 Windbox의 코너 부분 쪽으로는 유속이 줄어들기 때문에 Windbox의 코너쪽 보다는 중심 쪽에 위치한 Air register vane을 통해 유입되는 유량이 크게 나타나고 있다.

이렇게 Air register vane별로 유입되는 공기 유량의 차이가 발생하게 되면 버너내부에서도 버너축을 중심으로 균일한 유동분포가 나타나지 않고 한쪽으로 유동이 치우치게 된다. 이로써 버너내에서 연료와 공기의 분포가 균일하지 않을 가능성이 높아지기 때문에 연소가 불안정해지는 원인으로 작용할 수 있다.

5. 보일러 연소실내 연소현상

Fig. 9는 연소실내의 연소현상을 고려했을 경우 Front쪽 하부층의 중앙에 위치한 버너셀(2FB)출구에서의 속도벡터를 나타낸 것이다. 선회류의 방향이 모두 같기 때문에 하나의 버너셀에 존재하는 상부와 하부버너의 사이에서는 유동이 서로 반대로 진행하면서 충돌한다. 그렇기 때문에 하부버너의 선회강도는 상부버너의 유동과 충돌하면서 약해져 버너의 양쪽으로 분산된다. Case 2의 경우는 각 버너별로 공급되는 공기 유량편차가 존재하고 Air register vane별로 공급되는 공기양이 불균일하기 때문에 Case 1와는 기본적인 유동형태가 비슷하지만 각 버너 근처에서의 유속 분포가 차이가 Case 2가 크게 나타나게 되어 연소실내 유동이 더 불안정하다고 할 수 있다.

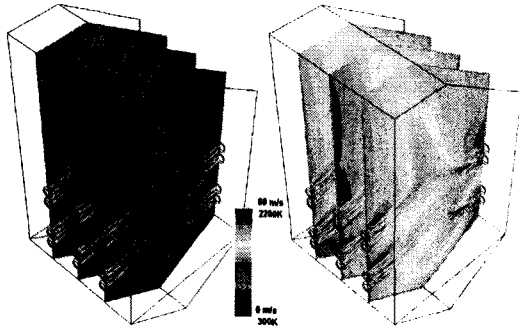
Fig.10은 연소실 단면에서의 속도 및 온도분포



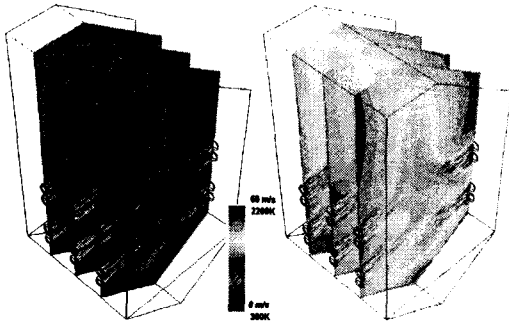
(a) Case 1 (b) Case 2

Fig. 9 Velocity vector distribution at the exit of the burner cell (2FB)

를 나타낸 것이다. Rear 쪽의 상부층과 하부층



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 10 Velocity and temperature distribution

사이에 유속이 빠른 부분이 공통적으로 존재하고 있으며 하부의 일부 유동이 연소실 하부 방향으로 향하고 있다. 단지 하부층의 유동은 두경우가 다소 다르게 나타나고 있으며 Case 2의 경우는 Front쪽의 하부층 버너에서 나온 유동은 반대쪽의 상부층과 하부층 사이로 좀 더 깊숙한 지점까지 유동이 형성되고 있다.

Table 3은 연소실의 일정 높이에서의 평균 온도와 CO질량 분율을 나타낸 것이다. Case 2의 경우에는 연소실 중앙의 B열의 버너로 연소용 공기가 많이 공급되지만 연소실의 코너에 위치한 A,C열 버너에는 연소용 공기가 부족하게 공급되므로 연소실 하단에서 CO의 분포가 특별히 높아지게 된다. 모든 버너로 균일하게 연소용 공기가 공급되는 Case1에 비해 2배 이상 CO 분율이 높게 나타난다. 이렇게 높은 비율로 하단에서 생성된 CO는 연소실의 상단으로 갈수록 추가적으로 공급되는 산소와 한꺼번에 반응하기 때문에 Case 2의 경우는 연소실 중앙의 온도가 Case 1에 비해 높아지게 된다. 연소실 출구기준으로는 Case 1과 Case 2의 경우 CO 발생율은 큰 차이를 보이지 않지만 Case 2의 경우 연소실 전체적

Table 3. Temperature and mass fraction in the boiler

Height (m)	Temperature(K)		Mass concentration(%)	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
5.3	1438	1455	0.017	0.037
9.5	1566	1569	0.025	0.034
14.4	1586	1613	0.026	0.029
20.9	1528	1532	0.015	0.018
26.9	1410	1422	0.013	0.014

으로 CO 분포가 차이가 크며 이로 인해 국부적인 온도상승이 발생할 수 있다고 할 수 있다. 이는 본 연구에서는 고려하지 않은 NOx 생성을 증가시킬 수 있는 한 요인으로 작용할 수도 있다.

5. 결론

다수의 버너를 사용하는 발전용 보일러에서는 각 버너별로 공급되는 공기유량의 차이가 발생함으로 인해 개별버너 주변에서의 유동이 불안정할 수 있다. 이로 인하여 버너의 연소 불안정성을 초래할 수 있으며 전체적인 연소효율 저감과 공해물질 발생이 증가할 수 있다. 본 연구에서는 실제 운전되고 있는 발전용 보일러의 Windbox를 통해 각 버너로 공급되는 공기유량을 전산해석을 통해 예측하고 실제 운전되는 발전소에서의 유속 측정을 통해 이를 확인하였다.

전체적인 유동의 경향은 Windbox의 Rear쪽보다는 Front쪽으로 공기의 공급이 많으며 주로 Windbox의 대칭축에 위치한 B열로 공기의 공급이 많이 되고 있는 경향을 보여주고 있다. 이런 경향은 공급 층의 유량변화와는 상관없이 동일한 경향을 보여주고 있다. 또한 버너 출구에서 형성된 연소용 공기 유동형태는 보일러에서 버너의 위치에 따라 버너 중심축을 기준으로 상하좌우로 찌그러진 유동형태를 보이고 있다. 이렇게 버너로 불균일하게 공급되는 연소용 공기는 연소실에서의 연소현상에 영향을 주게 되면 설비 설계자 혹은 운전자가 원하지 않는 CO 등의 오염물질을 증가시킬 수 있으며 연소실내 국부적인 온도상승을 유발할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 전력기반기술 개발 연구

사업으로 선정된 「중유화력 분진배출저감에 관한 연구」의 일부로 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] “중유화력 분진배출저감에 관한 연구(1차년도 중간보고서), 산업자원부, 2003.8
- [2] “중유화력 분진배출저감에 관한 연구”, 산업자원부, 2004.11
- [3] Syred, N. and Beer, J. M., “Combustion in Swirling Flow : A Review”, Combustion and Flame, Vol. 23. 1974, pp.143-201
- [4] 신명철, 안재현, 김세원, “다단 공기 공급 저 NOx 버너의 선회유동 및 연소특성에 관한 실험적 연구”, V.8 no.1. 2003, pp. 25-35
- [5] Charles E. Baukal Jr. & Robert E. Schwartz, “The John Zink Combustion Handbook”, CRC Press, 2001, pp. 547-586
- [6] Charles E. Baukal, JR., “Industrial Burners Handbook”, CRC Press, 2004
- [7] Maria da Graca Caarvalho, Woodrow A Fiveland, F. C. Lockwood & Christos Papadopoulos, “Combustion Technologies For a Clean Environment”, Gordon and Breach Publishers, 1991, pp.11~130, 203~258
- [8] J.G. Singer, “Combustion Fossil Power”, Combustion Engineering INC, 1991
- [9] “평택화력 1-4호기 기본운전지침서 (I)”, 한국전력공사 평택화력발전처, 1998, pp. 1~27