

유류 연소 발전용 보일러에서 공기 공급 계통의 불균일성에 관한 실험적 연구

고영건* · 최상민** · 김영주***

An Experimental Study on the Non-Uniform Flow Distribution in the Windbox of an Oil-Fired Boiler

Young Gun Go, Sangmin Choi and Young-zoo Kim

ABSTRACT

Oil-fired power plant usually uses several burners and 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 uniformly but, due to the complicated duct shape, flow distribution in the windbox is unbalanced and non-uniform supplies of combustion air are induced by these unbalanced flows 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 a windbox and measured the velocities at the exit of burners in a real windbox and model tests 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. Additionally some modifications of windbox shape and installation of baffles were proposed to make the uniform flow in the windbox.

Key Words : Windbox, Oil-Fired Burner, Power Plant, Flow Distribution, CFD

1. 서 론

국내 화력 발전 설비 중 약 16 %의 설비용량을 차지하는 중유화력 발전은 500 MW급 표준 석탄화력 발전이 급속히 성장하는 과정에서 상대적으로 등한시 되면서 1997년 이후 지속적으로 발전량이 감소 추세에 있다[1]. 그러나 중유화력 발전은 뛰어난 설비 가용성과 안정적인 동력원 확보의 일환으로 실시되고 있는 연료 다변화 정

책의 큰 부분을 담당하고 있다. 정부의 환경 규제의 강화 정책으로 인해 발전업체 및 관련 기관에서도 발전효율 증진과 함께 유해 NOx 저감 등 연소생성물 저감에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2-5].

중유 화력 발전용 보일러에는 다수의 버너가 내부에 설치되어 있고 연료 공급은 Fig. 1과 같은 계통을 통해 이루어진다. 연료의 이송성을 높이기 위해 이송라인 중간에서 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 발전소에서 갖고 있다. 이로 인해 각 버너로 공급되는 연료량

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과

*** 한전 전력연구원

† 연락처자, smchoi@kaist.ac.kr

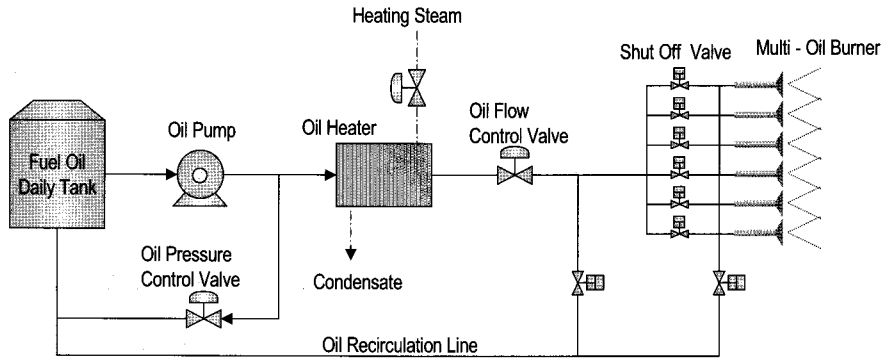


Fig. 1 Schematic diagram of fuel supply system in the oil-fired burner

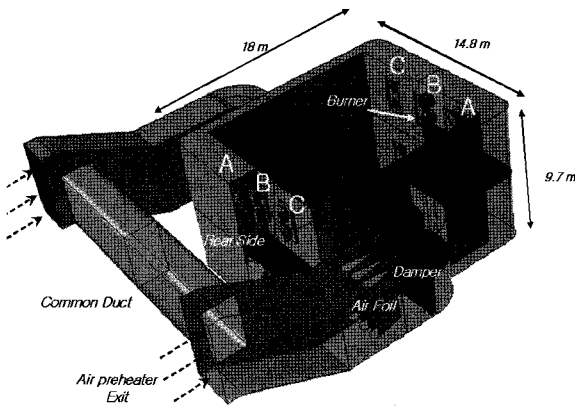
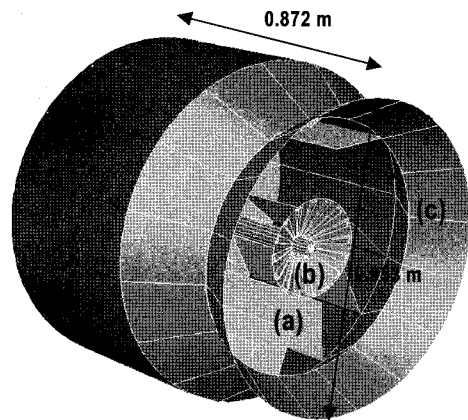


Fig. 2 Outline of a calculated windbox

이 서로 크게 차이를 보이고 있으며 이는 각 버너의 연소 환경이 버너별로 다르다는 것을 의미하게 된다[6,7].

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 공기예열기를 통하여 예열된 뒤 Windbox로 투입된다. 버너로 공급되는 연소용 공기의 유동을 안정화시키기 위한 Air Foil과 댐퍼가 Windbox에 설치되어 있으며 각 버너로 적절한 양의 공기를 공급하기 위해 다수의 격막에 의해 내부가 구분된다. Windbox의 통상적인 구조는 Fig. 2에서 보듯이 입구에서부터 버너출구까지 유리가 급격히 변하는 부분이 존재하기 때문에 내부유동이 불균일하게 형성되며, 그 결과로 각 버너로 공급되는 공기 유동이 불안정해지게 된다. 또한 Windbox 내부에는 각 버너로 공급되는 공기유량을 자체적으로 제어할 수 있는



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

Fig. 3 Outline of an oil-fired burner

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[8] 등에 의해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 중유화력 발전에 사용되는 버너의 형태는 기본적으로 축대칭적인 형태를 하고 있지만 앞에서 언급했듯이 Windbox내부의 불균일한 유동으로 인해 버너로 공급되는 공기는

중심축을 기준으로 비대칭적인 형태로 공급될 수 있다[9].

이에 따라 본 연구에서는 실제 운전되고 있는 중유 화력 발전소에 대해 Windbox를 통해 각 버너로 공급되는 연소용 공기량의 편차와 개별 버너의 Air register vane을 통해 공급되는 유동 형태가 이상적인 조건과 얼마나 차이가 있는가를 전산유동해석, 모형실험 그리고 실제 발전소에서의 유속측정을 통해 확인하고자 하며 Windbox 형상변경 및 배플 설치를 통한 개선방향을 제시하고자 한다.

2. 공기 공급 계통의 불균일성

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[3,5].

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 영향이 나타나게 된다[3,4,10].

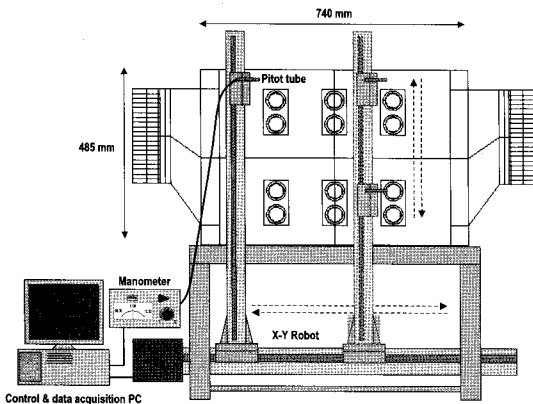
2.2 개별 버너에서 비대칭적인 공기 유입

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 비대칭적으로 형성 되어 화염 안정성에 나쁜 영향을 주게 된다. 그렇기 때문에 버너 주변으로 공급되는 공기분포가 균일하도록 Baffle 등의 추가적인 장치가 필요하다.

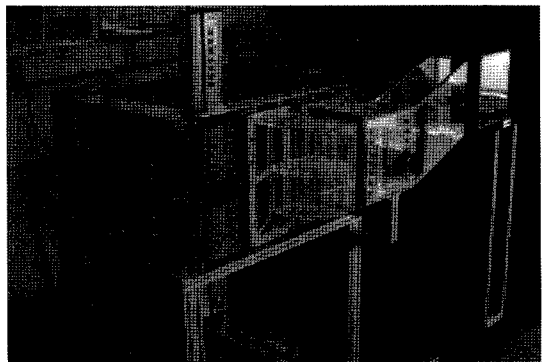
3. Windbox내 유동실험 및 전산해석

실제 발전소에서 각 버너로 공급되는 공기유량을 파악할 수 있으면 Windbox내 유동분포 및 이로 인한 연소불안정의 원인을 유추할 수 있게 된다. 그러나 실제 운전되고 있는 발전소에서는 유가 상황이나 전력 수요에 따라 운전상황을 수시로 변화시키기 때문에 Windbox내의 유동 분포 및 각 개별 버너로 들어가는 유량을 실측을 통해서 확인하는 것은 매우 어려운 작업이다.

그러므로 실질적으로 다양한 조건에서 Windbox내의 유동형태를 관찰할 수 있는 방법은 모형실험을 통해 확인할 수 있다. 그러나 축소 모형을 사용한 실험에서는 원형과의 상사성을 유지하기 어려우며 1:1 모형 사용은 실험장치 규모가 너무 크기 때문에 실험에 제약이 따르게 된다. 이런 실험의 한계성을 보완하기 위하여 본 연구에서는 전산 해석결과와 비교를 하였으며,



(a) Schematic diagram



(b) Photo of windbox cold flow model

Fig. 4 Windbox cold flow model test

Table 1 실험조건

항 목	단 위	원형	모 형 실험 조 건				
		설계조건	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
송풍기 회전수	RPM		607	760	913	1066	1218
총유량	m ³ /min	30,730	107	135	163	191	219
버너유량	m ³ /min	1,099	4.46	5.63	6.79	7.95	9.13
온도	℃	293	20	20	20	20	20
점도	kg/m · s	2.903×10^{-5}	1.78×10^{-5}	1.78×10^{-5}	1.78×10^{-5}	1.78×10^{-5}	1.78×10^{-5}
밀도	kg/m ³	0.6527	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
버너 출구 직경	m	0.96	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
출구 유속	m/s	25.3	50	63	77	90	103
Re(버너출구)		5.467×10^5	1.662×10^5	2.095×10^5	2.528×10^5	2.959×10^5	3.398×10^5

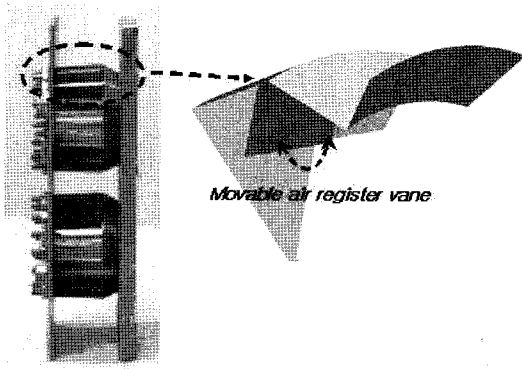


Fig. 5 Schematic diagram of burner-cell and air register vane

실제 운전되는 발전소에서 Windbox를 통해 버너로 공급되는 유량의 편차를 측정하여 모형실험과 전산해석 결과의 비교 기준으로 설정하였다.

3.1 해석 대상 개요

본 연구 대상 Windbox의 기본 형태는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 연소로 주위에 공기를 공급하는 덕트로 둘러싼 형태로 되어 있으며 상부층(1floor), 하부층(2floor), Front(F) 및 Rear(R)의 4부분이 격막에 의해 구분된다. 또한 2개의 버너가 상부버너와 하부버너로 하나의 셀을 구성하며, 총 12개의 버너셀이 설치되어 있다. 각각의 버너셀은 Windbox 바깥쪽에서 버너셀을 봤을 때 왼쪽부터 A,B,C의 기호를 갖게 된다. 또한 각 버너셀에서 위쪽의 상부버너는 Upper(U), 아래쪽의 하부버너는 Lower(L) 버너로 불린다. 그러므로 하부층의 Front면의 왼쪽 버너셀은 2FA라고 표시되며 2FA 버너셀의 하부버너는 2FAL로 표시된다. 버너의 형상은 Fig. 3과 같이 버너 중앙에 Impeller와 연료유를 분사하는 Atomizer

가 있으며 버너 내부로 들어오는 연소용 공기의 유량 및 선회도는 Air register vane 개도에 따라 제어가 된다[11].

3.2 실험장치

실험에 사용된 모형은 실물의 1/20 scale로 축소된 모형을 사용하였다. Fig. 4에서 보듯이 장치 구성은 크게 Windbox 모형, 공기를 공급하기 위한 송풍기, 압력측정장치, 측정 포트의 위치를 이동시키는 X/Y Robot 그리고 제어 및 데이터 획득을 위한 PC로 구성된다.

송풍기는 인버터를 통해서 유량을 조절할 수 있으며 Windbox의 입구 전단에서 양쪽으로 유동이 분기되어 공급된다. 공급된 공기는 Windbox 내부덕트를 거쳐 최종적으로 버너의 Air register vane을 통해 공급되며, 버너의 모형 형상은 Fig. 5와 같다. 공급 공기 유량은 피토포판과 마노미터를 이용해서 측정을 하며, 피토포판은 PC에 의해 제어되는 X/Y Robot에 의해 이동되어 각 버너의 유량을 측정하여 PC에 저장된다.

본 실험에서는 작동유체를 원형과 똑같은 공기를 사용하기 때문에 모형과 원형 사이의 레이놀즈수를 상사하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러나 레이놀즈수가 충분히 발달된 난류영역에 속하는 경우에는 레이놀즈수 값에 큰 영향을 받지 않기 때문에 원형과 같은 차수의 레이놀즈수를 유지하면 어느 정도 원형과 실물 사이의 상사 조건을 만족한다고 가정을 할 수 있다.

3.3 실험 및 전산해석 조건

실험조건은 상온의 공기 공급유량을 조절하여 Table 1에서와 같이 107 m³/min ~ 219 m³/min 사이의 유량조건에서 다섯 가지 경우에 대해서 실험을 하였다.

전산해석은 실제 Windbox 형상에 대해 4/4 (100%) 부하 기준에 대해서 Fluent 6.0을 이용하

여 해석을 하였으며 난류모델은 Standard $k-\epsilon$ 을 사용하였다. 또한 해석 영역은 Windbox입구에 연결된 곡판 덕트부분부터 버너의 Air register vane 까지를 해석대상으로 설정하였다. 또한 가운데 버너를 중심으로 완벽한 좌우 대칭 형태를 보이고 있기 때문에 Symmetric 경계조건을 사용하여 전체 Windbox 중에 1/2 에 해당하는 영역에 대해서만 해석을 하였다.

4. 전산해석 및 실험 결과

4.1 Windbox 내 유동분포(전산해석)

유동분포를 확인하기 위한 전산해석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림은 Front쪽과 Rear쪽에서의 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 Rear쪽의 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 전체적으로 Windbox 바닥면 부근의 유속이 빠르게 분포하고 있다.

4.2 버너셀별 유량 편차(전산해석 및 모형실험)

앞 절의 전산해석 결과를 보면 Windbox 내부 단면을 따라 유량 분포가 Windbox의 형상에 크게 영향을 받음을 알 수 있으며 이는 각 버너로 공급되는 연소용 공기유량에도 영향을 주게 된다. Fig. 7은 모형 실험을 통해 측정된 각 버너셀로 공급되는 유량 편차를 나타낸 것이다. 여기서 편차(Deviation)는 각 버너로 공급되는 유량과 평균유량과의 차를 평균유량에 대한 백분을 비로 나타낸 것이다. 각 버너셀로 공급되는 유량 분포는 모든 경우에서 유사한 경향을 보이고 있다. 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 별로는 Front쪽에서는 상부층과 하부층 모두에서 B열로 공급되는 유량이 더 크나 Rear쪽에서는 상부층에서는 B열이 하부층에서는 A,C 열로 더 많은 공기가 공급되고 있다.

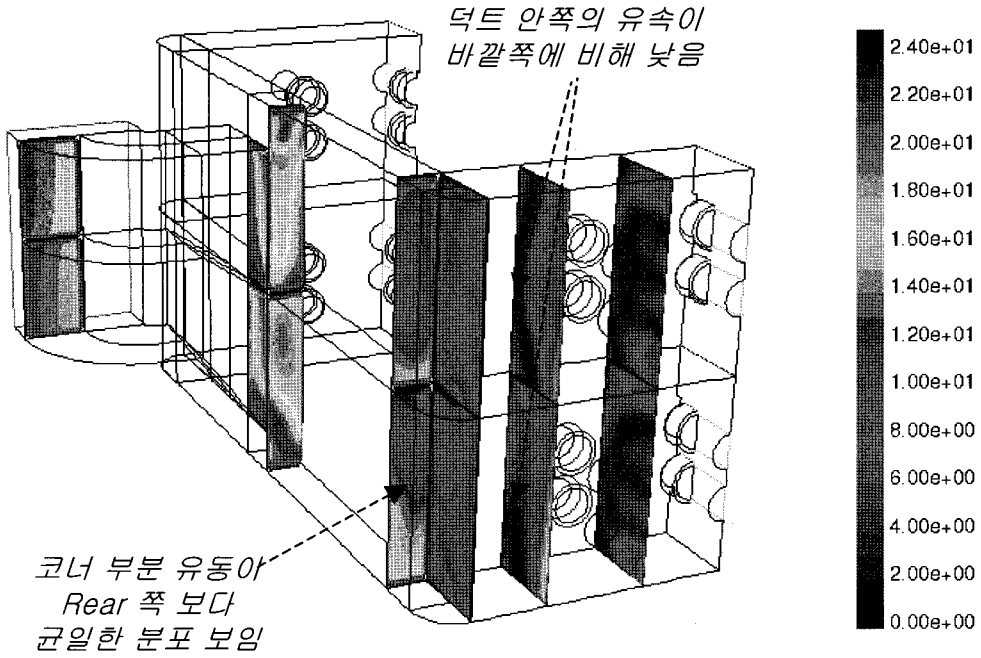
Table 2에는 각 버너 출구에서의 유량 편차를 전산해석을 통해 계산한 결과와 실험결과의 일부를 나타낸 것이다. 발전소 현장에서의 측정은 실제 운전 중인 발전소에서 측정을 하기 때문에 측

Table 2 Air flow rate deviation

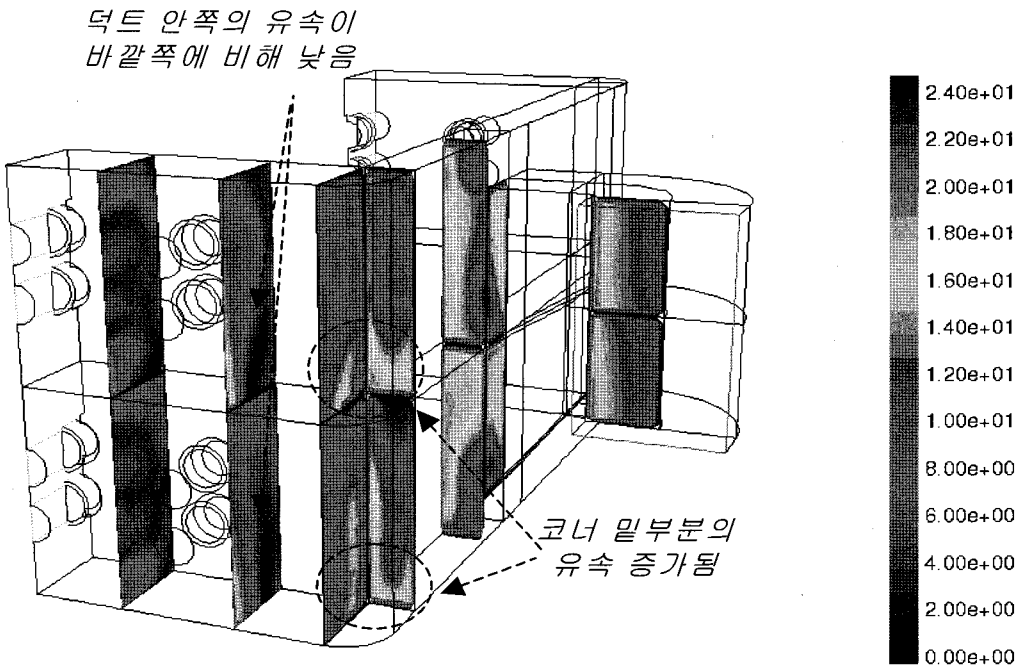
원형 전산해석		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	-4.6	12.8	-4.6
	lower	-4.5	17.1	-4.5
Rear 하부층	upper	-8.0	15.0	-8.0
	lower	-16.8	8.4	-16.8
모형실험 (Case 3)		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	1.24	2.66	1.85
	lower	-1.26	3.00	1.45
Rear 하부층	upper	-1.92	-0.73	-1.88
	lower	-2.31	-0.27	-2.32
발전소 현장실험		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	.	12.51	-1.62
	lower	.	-5.99	-4.9

정 조건이 매우 제한되며 이로 인해 2개의 버너셀에 대한 측정만 실시하였다. 기본적으로 전산해석 결과와 모형실험의 결과는 두 경우 모두 B열의 버너에 공기가 많이 공급되며 A열과 C열의 버너에는 상대적으로 적게 공급되는 것으로 나타난다. 이 외에도 하부층의 Rear쪽 A, C 버너가 가장 적게 공급이 되는 것도 공통적으로 나타났다. 그러나 전산해석과 모형실험 결과의 가장 큰 차이점은 버너 출구의 유량 편차가 모형실험 결과보다는 전산해석 결과에서 훨씬 크게 예측이 되고 있다. 여기서 실제 운전되고 있는 발전소의 일부 버너에서 측정된 현장실험 결과에서는 Windbox 중앙에 위치한 B열 버너로 역시 많은 공기가 공급되며 유량편차 크기는 모형실험 보다 전산해석 결과와 비슷하게 나타나고 있다. 이는 모형실험보다는 전산해석 결과의 유량 편차가 실제 상황을 더 정확히 예측한다고 볼 수 있다. 또한 모형 실험은 단순히 레이놀즈 수만을 기준으로 원형과 상사성을 유지시켰기 때문에 모형의 크기에 비해 과도한 유량이 공급되는 조건이 된다. 이로 인해 모형실험에서는 각 버너출구에서의 압력손실이 내부에서의 압력손실보다 상대적으로 매우 크기 때문에 각버너로 공급되는 공기 유량 편차가 원형보다는 작게 측정되게 된다.

전산해석과 현장실험 결과를 기준으로 판단하면 각 버너별로 공급되는 공기 유량 편차가 크게



(a) Front Side



(b) Rear Side

Fig 6. Velocity distribution in the windbox (m/s) (Calculation)

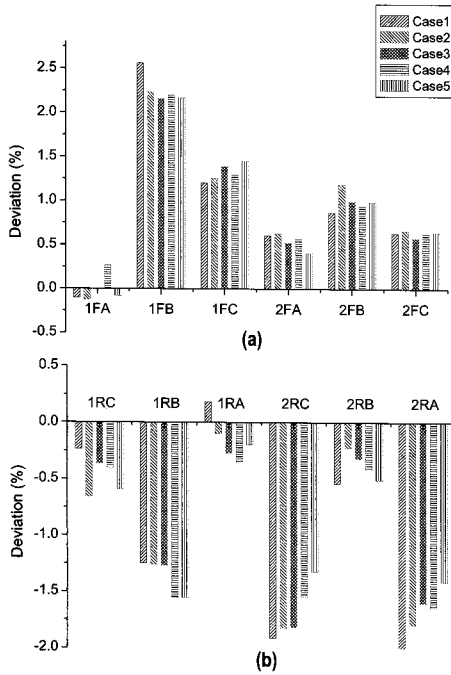


Fig. 7 Flow deviation w.r.t burners (a) Front side, (b) Rear side (Model Test)

발생함으로 전체적인 연소효율, 오염물질 생성 등의 문제가 발생할 수 있으며 원형 Windbox는 구조적으로 개선할 여지가 있다고 할 수 있다.

4.3 개별 버너에서 비대칭적인 공기유입

Figure 8은 전산해석을 통해 각 버너의 Air register vane에서의 공기 유량 분포를 나타낸 것으로 하나의 버너셀을 구성하는 상부와 하부 버너를 각각의 그래프에 나타낸 것이다. 모든 버너의 공통적인 특징으로 각 버너 셀의 상부 버너와 하부 버너가 중심축을 기준으로 상하로 대칭적인 유동형태를 보이고 있다. 이는 버너셀의 위쪽 공간과 아래쪽 공간보다 버너셀을 이루는 두 버너 사이의 공간이 협소하기 때문에 이 부분으로 유입되는 공기유량은 적고 반대로 버너셀의 위쪽과 아래쪽으로 들어오는 공기유량은 크기 때문에 모든 버너들에서 상부 버너와 하부 버너는 버너셀이 중심축을 기준으로 서로 반대되는 형태의 유량분포를 공통적으로 보이고 있다. 유입되는 공기유량이 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

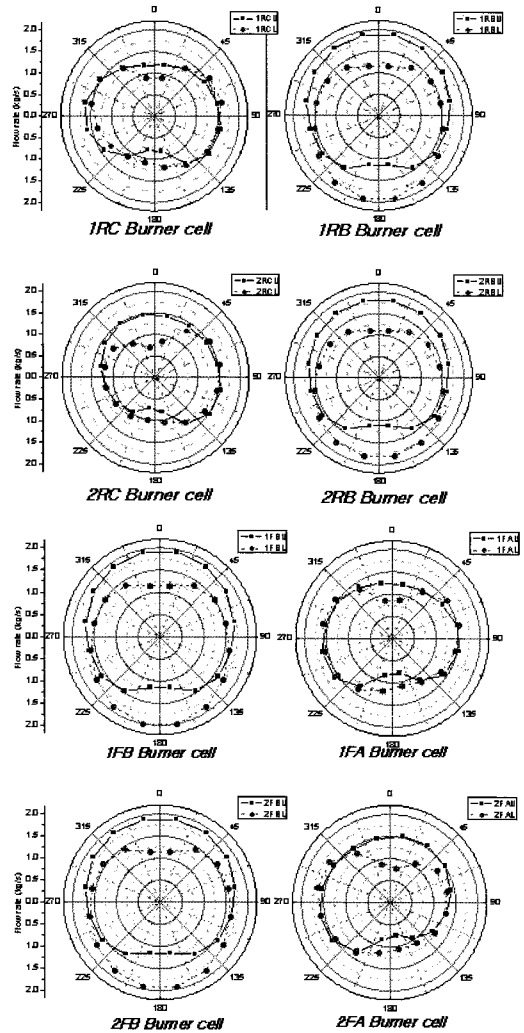


Fig. 8 Air flow shape at the exits of each burner (Calculation)

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. 이는 Fig. 9와 같이 버너출구에서의 단면속도 분포를 모형실험을 통해 측정된 결과에 의해서도 확인할 수 있다. Windbox 중앙에 위치한 B열 버너의 경우는 코너에 위치한 A,C열 버너에 비해 비교적 좌우 대칭적인 형태를 띄고 있으며 A,C열 버너는 상하좌우로 비대칭적인 유속 분포를 보이고 있다.

이렇게 Air register vane별로 유입되는 공기 유량의 차이가 발생하게 되면 버너 내부에서도 버너축을 중심으로 균일한 유동분포가 나타나지

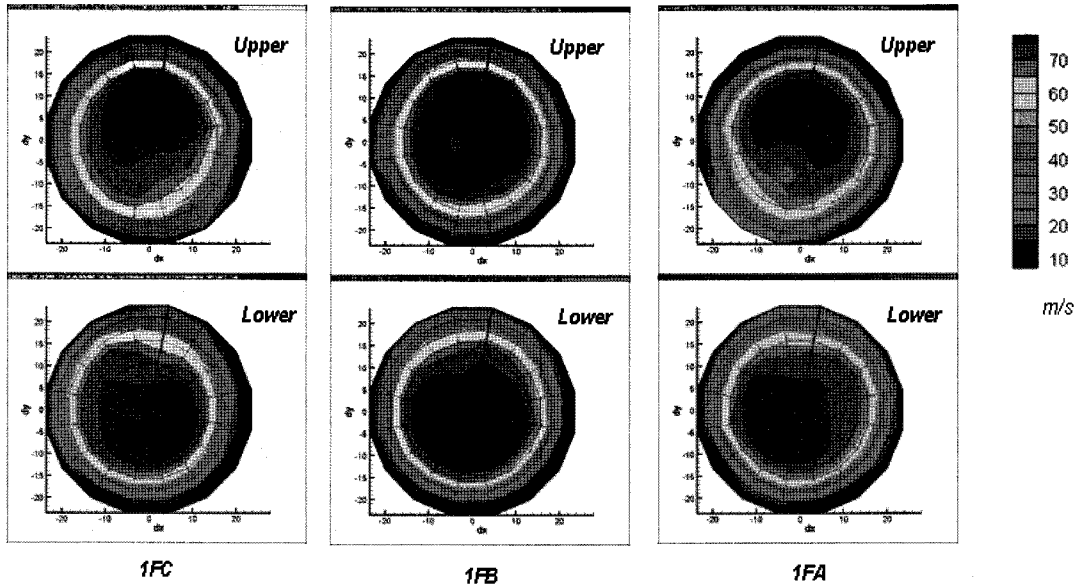


Fig. 9 Air flow contour at the exits of each burner (Model Test) for Case 3

않고 한쪽으로 유동이 치우치게 되므로 버너 내에서 연료와 공기의 분포가 균일하지 않게 되어 연소가 불안정해지는 원인이 될 수 있다.

5. 구조변경을 통한 Windbox내 유동 개선

5.1 구조변경

기존 Windbox에서는 각 버너로 공급되는 공기 유량 편차가 존재하고 개별 버너에서도 비축대칭적으로 공기가 공급되고 있는 것을 확인할 수 있다. 이를 개선하기 위해 Windbox의 구조를 Fig. 10과 같이 변경하여 개선방향을 검토하였다.

Case M-1은 상부층과 하부층의 Windbox 중심부 덕트 높이를 10% 줄여 B열 버너 부분의 단면적을 줄인 형태이다. 이는 대상 Windbox에서 B열 버너로 공기가 많이 공급되기 때문에 B열 부분의 유로를 좁게 하여 B열로 공급되는 공기 유량을 줄이기 위한 방안이다. Case M-2는 Windbox의 코너에 폭 40 cm의 배플을 설치하고 A, C열 버너와 B열 버너 사이에는 높이 50 cm의 Baffle을 덕트의 천정과 바닥에 설치한 경우이다. 코너에 설치된 Baffle은 덕트내 유동이 Windbox의 코너부분을 지나면서 덕트내 바깥쪽 면의 속도가 높아지는 것을 상쇄하기 위한 것이며, A, C열 버너와 B열 버너 사이에 위치한 Baffle은 유동이 A, C열 버너를 지나면서 덕트의 천정과 바닥에서 유속이 빨라지기 때문에 이를 상쇄하기 위한 것이며, Case M-4는 코너 부분의 배플의 위치를 조절한 것이다.

5.2 구조 변경 해석 결과

Table 3은 변경된 형상의 Windbox에서 상부층의 Front쪽 버너들의 출구에서의 유량 편차를 나타낸 것이며, Fig. 11은 각 버너출구로 공급되는 공기 유동 형태를 나타낸 것이다. Case M-1의 경우는 Windbox 중심부의 단면이 축소됨으로 인한 압력손실 증가로 B열 버너로 공급되던 유량이 줄어드는 효과를 보이기는 하나 Windbox내부에서의 공기 유동이 원형에서의 유동형태를 그대로 유지하기 때문에 여전히 높은 수준의 유량 편차를 보인다. 또한 Windbox 중앙에서의 좁은 유로로 인해 B열의 상부와 하부 버너는 원형의 경우보다 더 상하로 비대칭적인 유동형태를 보이고 있다. 그러나 Windbox 형상은 그대로 두고 내부에 배플을 설치한 Case M-2과 M-3의 경우도 B열 버너로 더 많은 공기가 공급되지만 원형과 Case M-1에 비해 편차가 크게 줄어든다. 이는 Windbox 내부 유동에서 유량이 큰 부분에서 배플 설치로 인한 압력손실 증가에 의해 직접적으로 유량을 통제하기 때문에 다른 경우들에 비해 각 버너로 비교적 균일하게 공기가 공급된다고 할 수 있다. 그러나 Case M-3는 코너에 설치된 배플이 A와 C열 버너에 근접하여 위치하기 때문에 배플이 설치된 쪽의 Air register vane으로는 공기 공급이 오히려 제한된다. 이로 인해 버너출구의 유동형태는 가장 비대칭적으로 나타나게 된다.

Windbox의 개선 방향을 유량편차와 유동형태의 대칭성 기준으로 판단하면 덕트의 형상을 변

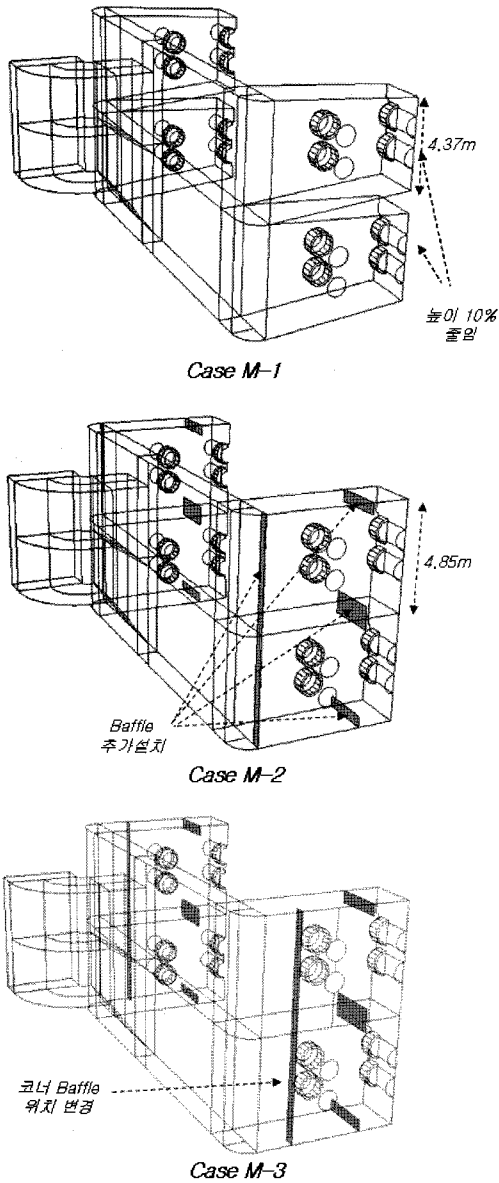


Fig. 10 Shapes of Modified Windbox

형하기 보다는 Windbox내부의 적절한 위치에 배플을 Case M-2의 경우가 원형의 Windbox를 개선할 대안이라 할 수 있다.

6. 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 공

Table 3 Air flow rate deviation of modified windbox(Calculation)

Case M-1		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	-4.5	14.8	-4.5
	lower	-2.8	6.5	-2.8
Case M-2		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	1.6	6.9	1.6
	lower	-3.5	8.2	-3.5
Case M-3		A	B	C
		편차 %	편차 %	편차 %
Front 상부층	upper	-2.6	6.3	-2.6
	lower	0.3	7.6	0.3

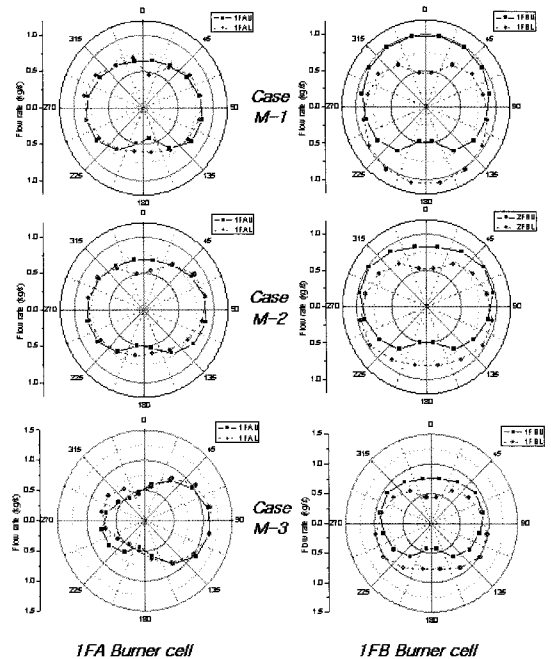


Fig. 11 Air flow shape at the exits of each burner (Modified windbox, Calculation)

해물질 발생이 증가할 수 있다. 본 연구에서는 실제 운전되고 있는 발전용 보일러의 Windbox를 통해 각 버너로 공급되는 공기유량을 축소모

형 실험과 전산해석 방법을 사용하여 예측하였다.

전체적인 유동의 경향은 Windbox의 Rear쪽 보다는 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 비대칭적인 유동형태를 보이고 있다. 이런 공기 공급의 불균일성은 Windbox내부에 비교적 간단한 배플을 설치하여 유동의 불균일성을 효과적으로 제어할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 전력기반기술 개발 연구 사업으로 선정된 『중유화력 분진배출저감에 관한 연구』와 연소기술연구센터(Combustion Engineering Research Center)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] “주요통계지표 종합”, 한국전력, 2004.

[2] 신명철, 안재현, 김세원, “다단 공기 공급 저 NOx 버너의 선회유동 및 연소특성에 관한 실험적 연구,” Vol.8, No.1, 2003, pp. 25-35.

[3] E. Charles and J. Baukal, “Industrial Burners Handbook,” CRC Press, 2004.

[4] M. G. Caarvalho, W. A. Fiveland, F. C. Lockwood and C. Papadopoulos, “Combustion Technologies For a Clean Environment,” Gordon and Breach Publishers, 1991, pp.11-130, 203-258.

[5] J. G. Singer, “Combustion Fossil Power,” Combustion Engineering INC, 1991.

[6] “중유화력 분진배출저감에 관한 연구(1차년도 중간보고서), 산업자원부, 2003.8.

[7] “중유화력 분진배출저감에 관한 연구”, 산업자원부, 2004.11.

[8] N. Syred and J. M. Beer, “Combustion in Swirling Flow : A Review,” Combustion and Flame, Vol. 23. 1974, pp.143-201.

[9] 김병윤, 백희석, “산업용 보일러 윈드박스 유동해석.” 2002 Fluent Users’s Group Meeting 2002.

[10] E. Charles, J. Baukal and E. S. Robert, “The John Zink Combustion Handbook,” CRC Press, 2001, pp. 547-586.

[11] “평택화력 1-4호기 기본운전지침서 (I),” 한국전력공사 평택화력발전처, 1998, pp.1-27.