

## 보일러 Windbox내 공기공급 계통의 유량분포 해석

박 호 영<sup>†</sup>, 김 성 철

한전 전력연구원 신발전연소그룹

### Analysis of Air Distribution in the Windbox System of the Utility Boiler

Ho Young Park<sup>†</sup>, Sung Chul Kim

*Advanced Power and Combustion Group, KEPRI, Munji-Ro 65, Yusung-Gu, Daejeon, 305-380, Korea*

*(Received July 23, 2008; revision received August 18, 2008)*

**ABSTRACT:** The pulverized coal combustion behavior in the utility boiler is very complex since so many physical and chemical processes happen in it, simultaneously. The mixing of pulverized coal with combustion air plays an important role in achieving the efficient combustion and stable boiler operation. The distribution of combustion air supplied to the furnace through the windbox damper system has not been clearly known since the individual measurements of air flow for each air nozzle were not possible, yet. The present study describes the CFD modelling of windbox damper system and aims to obtain the air flow rates and pressure loss coefficients across the present five damper systems, respectively. The one dimensional flow network model has been also established to get air flow distributions across the windbox damper, and applied to the actual plant operation condition. Compared with the designed air flow distribution, the modelled one gives a reasonable agreement. For the actual plant operation, the predicted air flow distribution at each air nozzle is differed with the designed data and strongly affected by the individual opening angle.

**Key words:** Furnace(화로), Damper(댐퍼), Air flow(공기 유량), Flow network(유동망)

#### 기호설명

|            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| $\Delta p$ | : 압력강하 [Pa]                     |
| $P_1$      | : 입구압력 [Pa]                     |
| $P_2$      | : 출구압력 [Pa]                     |
| $\rho$     | : 밀도 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] |
| $Q$        | : 유량 [ $\text{kg}/\text{s}$ ]   |
| $K$        | : 손실계수 [-]                      |
| $u$        | : 평균속도 [ $\text{m}/\text{s}$ ]  |
| $A$        | : 유로 면적 [ $\text{m}^2$ ]        |
| $T$        | : 유체 온도 [ $^\circ\text{C}$ ]    |

#### 1. 서 론

석탄화력 발전소의 보일러 화로(Furnace)내에서의 미분탄 연소와 전열은 3차원 난류유동, 대류/복사열전달, 기-고 이상유동, 미분탄의 열분해, 촉(Char) 반응을 포함하는 복잡한 화학 반응 등 매우 복잡한 물리, 화학적 현상이 복합적으로 일어나고 있어 이를 정확히 모델링하거나 해석하는 것은 매우 어렵다. 보일러 화로에서는 미분탄의 열분해 생성물인 가스상의 휘발분 연소, 그리고 탄소와 회(Ash)로 이루어진 고체상의 촉(Char) 연소가 일어나며 이때 발생된 열은 화로내의 수냉 벽에서 흡수되고 약  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ 内外의 연소 배가스(Exhaust gas)가 화로 출구로 향한다.<sup>(1)</sup> 이러한

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-42-865-5342; fax: +82-42-865-5364

E-mail address: hypark@kepri.re.kr

화로내에서의 연소현상은 연료인 미분탄과 산화제인 공기와의 혼합에 의해 크게 달라진다.

일반적으로 대용량의 화력발전소 보일러 연소방식은 접선연소방식(Tangential firing system) 형태를 취하고 있다. Fig. 1은 보일러내 미분탄버너의 배열과 각종 공기 노즐, 그리고 노즐 뒤편의 Windbox 내 각종 댐퍼의 형상을 개략적으로 보여준다. Fig. 2는 이들 버너와 공기 노즐, 그리고 댐퍼에 대한 실제 사진을 보여준다. 보일러내 미분탄 버너들은 보일러의 4개 코너에 6개씩 총 24개가 설치되어 있으며 미분탄 버너 상하로 각종 연소용 2차 공기 노즐이 설치되어 있다. 미분탄 버너는 아래부터 위쪽으로 A, B, C, D, E, F로 지칭되며 각 코너에서 분사된 석탄-공기 혼합물은 연소로 중앙부에 구형의 화염(Fire ball)을 형성하면서 시계방향으로 선회를 하며 화로 출구로 연소ガ스가 이동하게 된다. 미분탄 공기는 미분탄 버너의 외곽으로 공급되며 버너 상하에 미분탄-공기 혼합물의 분사방향과  $22^\circ$  차이를 가지고 CFS(Concentric Firing System) 공기 노즐이 설치되어 있다. 또한 보조공기(Aux. air) 노즐도 각 코너에 4개씩 설치되어 있으며 최하단부에 하단 공기(UFA : Under Fire Air) 노즐이 설치되어 있다. 보일러의 초기 기동시 사용되는 경유 버너용 연소공기 노즐인 Oil/Air(Light oil) 노즐은 미분탄 연소시 보조공기(Aux. air) 노즐로 사용되어진다. 또한 버너 레벨의 최상부에는 CCOFA(Closed Coupled Over-Fire Air) 노즐이 2단으로 설치되어 있다. 화로 하단부에서 생성된 미분탄 화염은 통상 연료과잉 조건이며 이때 발생되는 미연성분의 연소를 위하여 6개의 SOFA(Separated Over-Fire Air)노즐이 화로 상부에 설치되어 있다.<sup>(2-3)</sup>

보일러 4개 코너의 6개 버너 레벨에 공급되는 연소용 공기는 4개 코너의 Windbox의 노즐별 댐퍼(Damper)를 통하여 유량을 제어하면서 화로내로 공급되어진다. 일반적으로 Windbox 내의 각종 공기 노즐 댐퍼의 개도는 출력, 버너의 운전 댓수, 사용 탄종에 따라 보일러 운전원(Operator)이 각종 댐퍼의 개도를 조절한다. 역청탄과 아역청탄을 혼소하는 경우 통상적으로 고정탄소분이 많은 역청탄을 하단의 버너, 즉 A, B, C 미분탄 버너에 공급하며, 휘발분이 상대적으로 많은 아역청탄을 상부의 D, E, F 버너로 공급하여 연소

시킨다. 이 경우 하단부의 댐퍼 개도를 더 열어서 역청탄 연소에 필요한 연소용 공기를 좀 더 많이 공급한다. 이와 같이 보일러의 운전조건이나 사용 탄종에 따라 각종 댐퍼의 개도가 달라지게 되며, 보일러 화로로 공급되는 연소용 공기의 버너 레벨별 분포도 달라지게 된다.

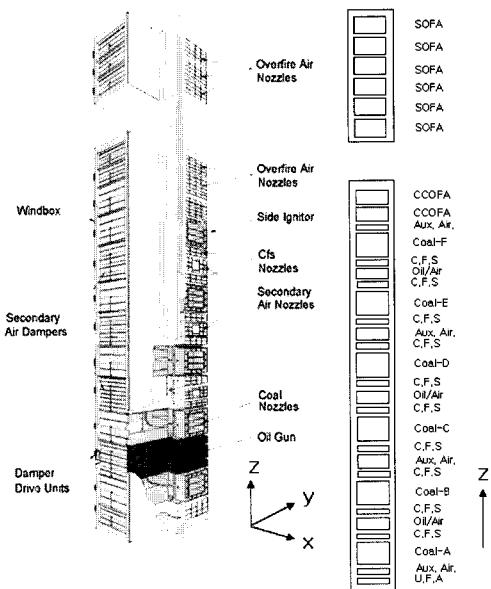


Fig. 1 Burner arrangement and dampers.

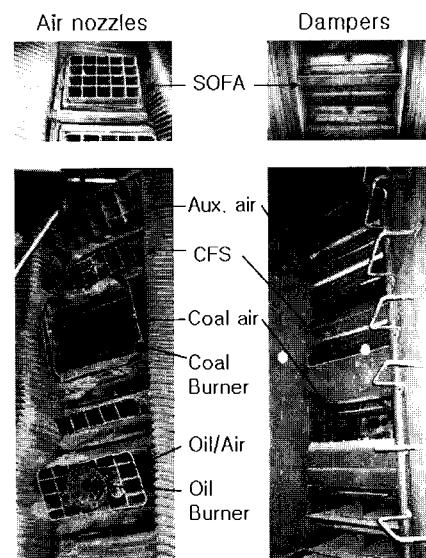


Fig. 2 Photo of air nozzles and dampers.

보일러는 물론 발전 플랜트 전체의 안정적인 운전과 최적의 성능을 위하여 화로내 연소 및 전열특성을 운전조건과 사용 탄종에 따라 파악하여야 한다. 그러나 앞서 언급하였듯이 화로내 연소 및 전열현상을 직접 측정하는 것은 불가능하며 보일러내 각종 전열관문의 입, 출구 증기 온도, 그리고 일부 전열관에서 측정된 투보 금속온도로부터 연소, 전열특성을 추정하거나 경험으로부터 유추하고 있는 실정이다. 최근 컴퓨터의 계산속도와 계산 메모리 용량이 급속히 향상됨에 따라 대형 미분탄 보일러의 실제 형상을 고려한 전산해석 연구가 활발히 수행되고 있으며, 이로부터 미분탄 보일러의 연소특성 분석, 안정적인 운전과 효율향상에 필요한 여러 가지 유용한 정보를 얻고 있다. 가장 일반적인 미분탄 연소방식인 접선 연소식(Tangential firing) 보일러에 관한 여러 가지 전산해석 연구결과가 발표되고 있으며<sup>(4,6)</sup> 특히, Yin 등,<sup>(7,8)</sup> Park and Kim<sup>(9)</sup>은 대용량 미분탄 접선연소식 보일러의 형상을 실제 보일러 형상과 거의 동일하게 모사하고 해석 결과를 실측 및 설계 데이터와 비교한 바 있다. 대부분의 경우 미분탄 보일러의 연소 전산해석시 각종 노즐을 통한 공기 유량은 댐퍼 개도에 관계없이 보일러 제작사에서 설계한 데이터를 사용하고 있다. 화로내 연소 및 전열현상을 보다 정확히 모사하기 위해서는 각종 댐퍼 개도에 따른 공기 유량을 입구 조건으로 사용하여야 한다. 그러나 현재 보일러 제작사에서도 댐퍼 개도에 따른 공기노즐에서의 유량 분포를 제시하지 못하고 있으며 댐퍼 개도에 따른 공기 유량을 실측하는 것도 현실적으로 불가능한 실정이다.

본 연구에서는 보일러 Windbox에 설치되어 있는 각종 공기 노즐의 댐퍼를 통과하는 유동에 대한 CFD(Computational Fluid Mechanics) 전산해석을 수행하여 댐퍼 개도에 따른 공기 유량 분포를 얻고자 한다. 그리고 Windbox 내의 각종 댐퍼에 대한 일차원 유동망 모델을 구성하여 각 댐퍼의 개도 변화에 따른 공기 노즐 각각에서의 유량 분포를 구하고자 한다. 본 연구 결과 얻어진 보일러 연소용 공기 노즐에서의 유량 분포는 화로내 실제 연소 및 전열현상을 보다 정확하게 모사하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 2. 해석 모델

### 2.1 댐퍼 모델

Fig. 3은 보일러 화로의 4개 코너에 위치한 Windbox 내의 각종 댐퍼와 유로를 간략화한 것이다. 유로는 직사각 단면이며 폭은 모두 1m이고 높이는 각 노즐에 따라 다른 값을 갖는다. 보조 공기 노즐과 SOFA 노즐의 경우 두개의 댐퍼를 가지고 있으며 하단공기, CFS, 미분탄공기 노즐로 공급되는 유로의 경우 한개의 댐퍼를 가지고 있다. F 버너 상부에 설치되어 있는 CCOFA 노즐의 경우 유로 및 댐퍼 형상이 보조 공기 노즐과 동일하다. 경유(Light oil) 노즐의 경우도 미분

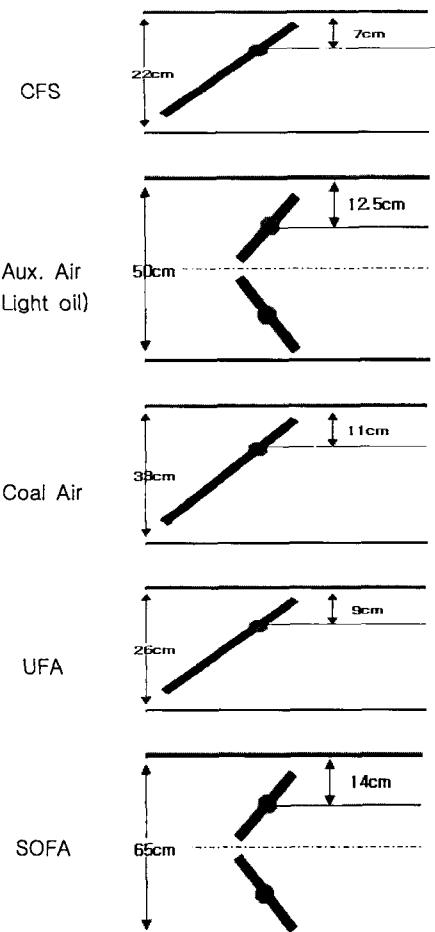


Fig. 3 Geometry of damper system.

탄 연소의 정상운전중에는 보조공기 노즐로서 사용되며 그 형상은 보조공기 램퍼와 동일하다.

각 램퍼 개도에 따른 유량 변화는 식(1)과 같이 램퍼 전, 후단 사이의 압력손실계수( $K$ )로 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{\Delta p}{1/2 \rho u^2} = \frac{\Delta p A^2}{1/2 \rho Q^2} \quad (1)$$

이러한 램퍼의 개도에 따른 압력 손실 계수를 얻기 위하여 각 램퍼별로 CFD(Computation Fluid Dynamics) 해석을 상용 프로그램인 FLUENT을 이용하여 수행하였다.<sup>(10)</sup>

## 2.2 CFD 격자 생성 및 해석 조건

Fig. 4는 CFD에서 사용된 램퍼 시스템에 대한 개략도를, Fig. 5는 계산 격자를 나타낸 것이다. 격자는 삼각형 격자를 이용하였으며 램퍼 주변에 격자를 집중하여 생성하였다. Fig. 4의 왼쪽 부분은 램퍼 입구부분인 Winbox 부분을 나타내며 오른쪽 부분은 보일러 화로 내부를 나타낸다.

CFD 계산시 램퍼 전, 후단에 계산 영역을 충분히 확보하여 램퍼 형상 및 개도에 따른 격자계의 영향을 줄이고자 하였다. 해석 대상인 5개 램퍼의 개도에 따른 유량 해석시 사용한 경계 조건은 보일러의 실제 운전 조건을 사용하였다. 램퍼 전단인 Windbox 내의 압력은 882.6 Pa, 온도는 375 °C를 경계조건으로 하였으며 램퍼 후단의 압

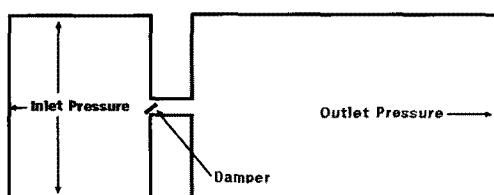


Fig. 4 Overall domain of CFD calculation.

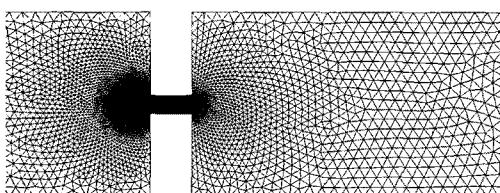


Fig. 5 Grid generation for damper system.

력을  $-98.1 \text{ Pa}$ 로 설정하였다. 각 램퍼의 개도를  $0^\circ$ 에서부터  $90^\circ$ 까지  $6^\circ$ 간격으로 나누어 램퍼별로 15개의 개도에 대하여 계산하였다.

## 2.3 Windbox 일차원 유동망 모델

Windbox 내의 램퍼 시스템은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 32개의 램퍼로 구성되어 있으며 이들은 일차원 유동망 모델(One-dimensional flow network model)로 나타낼 수 있다.<sup>(11-12)</sup> Fig. 6은 유동망 전용 해석코드인 Flowmaster를 이용하여 Windbox 내의 램퍼 시스템을 나타낸 것으로 램퍼 전, 후단의 압력차는  $980.7 \text{ Pa}$ 로 유지되어진다. Windbox로 공급되어지는 총 유량은 보일러 운전 조건에서 주어진다. 각 램퍼의 개도에 따른 압력 손실 계수를 설정하고 일차원 유동망 모델을 이용하여 각 램퍼를 통하여 각종 공기 노즐로 분배되는 유량을 각각 구할 수 있다. 이때 각 램퍼의

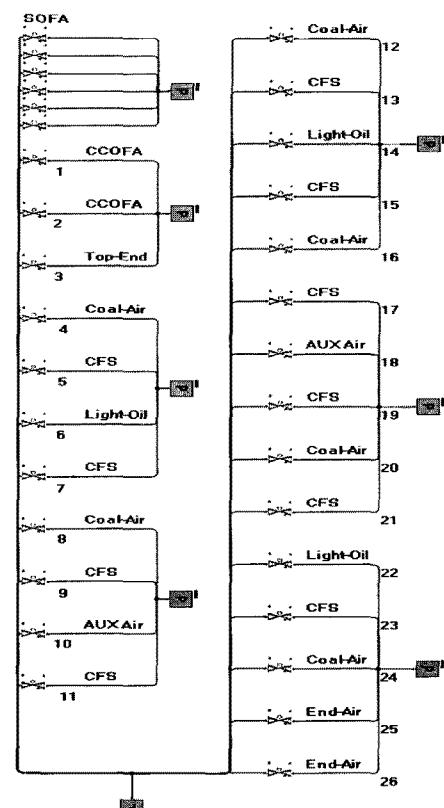


Fig. 6 One dimensional flow network model for damper system.

개도에 따른 압력 손실 계수는 CFD 해석으로부터 얻어진 결과를 사용한 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 CFD를 이용한 댐퍼의 특성 해석

Windbox 내에 설치된 5개 종류의 댐퍼에 대한 CFD 유동특성 해석 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7과 Fig. 8은 댐퍼가 66° 열린 상태에 대하여 댐퍼 주위에서의 압력과 속도분포를 나타낸 것이다. 댐퍼가 위치한 영역을 중심으로 유동의 변화가 심하게 나타나고 있으며 댐퍼 전, 후단의 압력이 변화하는 부분이 좌우 각각의 계산 영역내에 머무르고 있음을 볼 수 있다. 속도 분포의 경우도 댐퍼 전후의 속도 변화가 좌우 계산 영역내에서 나타나고 있어 계산 영역이 적절하게 설정된 것으로 판단된다. 두개의 평판으로 이루어진 보조공기와 SOFA 댐퍼 시스템의 경우 한개의 평판으로 구성된 다른 댐퍼 시스템보다 댐퍼 전후의 압력 변화 폭이 큰 것을 알 수 있으며 압력 손실 계수의 변화폭도 더 큰 값을 가질 수 있다. 또한 Fig. 8로부터도 보조공기와 SOFA 댐퍼의 개도에 따른 유동장의 변화 상태가 가장 큰 것을 볼 수 있다.

한편, 각 댐퍼별 유동장과 압력장의 변화는 각 댐퍼 형상에 따른 풍량과 개도에 따른 영향을 고찰할 필요가 있으며, 이는 댐퍼별 유량 계수를 구하여 서로 비교하는 것이 유용하다. 일반적으로 댐퍼 혹은 벨브를 지나는 공기에 대한 유량계수 ( $C_v$ )는 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며 물리적으로 단위 압력차에 대한 유량이라고 볼 수 있다.<sup>(13)</sup>

$$C_v = \frac{Q}{288} \left\{ \frac{(T+273)}{\Delta P(P_1 + P_2)} \right\}^{1/2} \quad (2)$$

Fig. 9는 댐퍼의 개도에 따른 5개 댐퍼시스템의 유량계수를 서로 비교한 것이다. 댐퍼 전후의 동일한 압력차(980.7 Pa)에서 댐퍼의 개도(Opening angle)가 증가함에 따라 유량계수, 즉 유량이 거의 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 한개의 판으로 이루어진 CFS, 미분탄공기와 하단공기 댐퍼의 경우 개도에 따른 유량계수 변화는 서로 비슷한 경향을 보인다. 두 개의 판으로 이루어진 SOFA

와 보조공기(Light oil) 댐퍼시스템의 경우 개도가 커지면서 상대적으로 더 많은 유량이 흐르는 것을 볼 수 있다. 댐퍼의 단면적이 큰 SOFA 댐

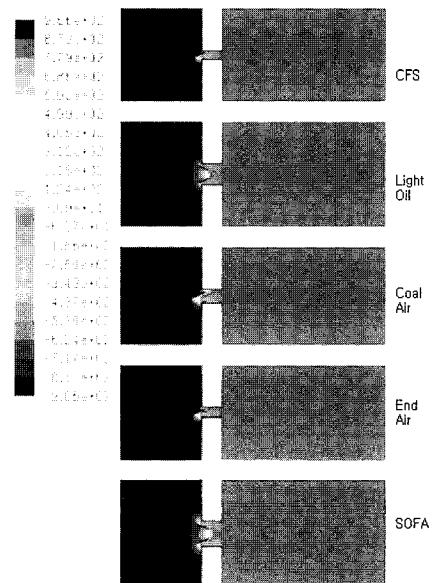


Fig. 7 Pressure distribution across the damper system.

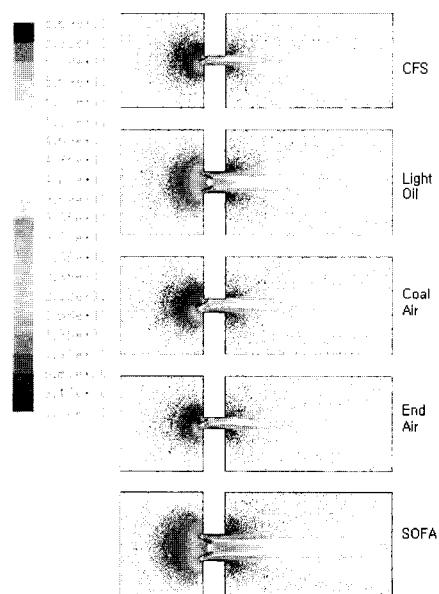


Fig. 8 Velocity distribution across the damper system.

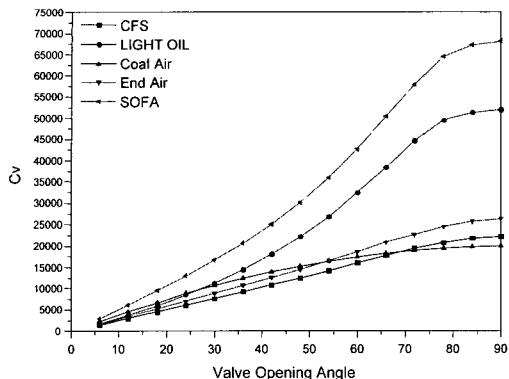


Fig. 9 Flow coefficients depending on the opening angle for 5 damper system.

폐가 보조공기(Light oil) 림퍼보다 더 많은 유량이 통과함을 알 수 있다. 이와 같이 SOFA와 보조공기 림퍼를 지나는 공기의 유량은 다른 림퍼들에 비해 개도에 따른 유량의 변화 폭이 크게 되고 이에 따라 압력장과 유동장의 변화상태도 크게 나타나는 것으로 보인다.

### 3.2 Damper 개도별 유량 및 압력손실 계수

CFD 해석 결과로부터 5개 림퍼 시스템의 림퍼 개도에 따른 유량과 압력 손실 계수를 구하였다. Fig. 10~Fig. 14는 각각 CFS, 보조공기, 미분탄공기, 하단공기와 SOFA 림퍼의 개도(Opening angle)에 따른 유량과 손실계수를 보여준다. 5개 림퍼의 압력 손실계수를 림퍼 개도가 6°인 경우에 대하여 살펴보면 CFS, 보조공기, 미분탄 공기, 하단공기, 그리고 SOFA 공기 림퍼의 압력 손실 계수가 각각 393, 1392, 387, 405, 844임을 보여주고 있다.

CFS, 미분탄공기와 하단공기 림퍼의 경우 개도가 72°까지 유량은 선형적으로 증가하고 손실 계수는 포물선 형태로 감소함을 볼 수 있다(Fig. 10, Fig. 12, Fig. 13 참조). 반면 Fig. 11과 Fig. 14의 보조공기와 SOFA 림퍼의 경우 림퍼 개도에 따라 유량과 손실계수가 포물선 형태를 가지고 있음을 볼 수 있다. 이는 림퍼 시스템을 이루는 평판의 개수, 그리고 이들의 배치 모양에 따라 유량곡선과 손실 계수가 다르게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

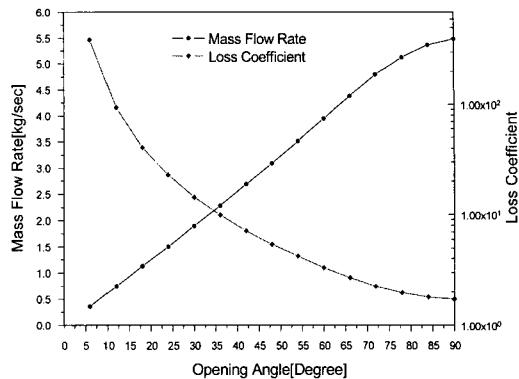


Fig. 10 Mass flow rate and pressure loss coefficient for CFS air damper system.

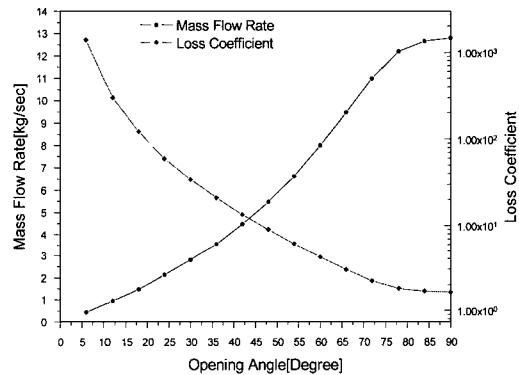


Fig. 11 Mass flow rate and pressure loss coefficient for Aux air(Light oil) damper system.

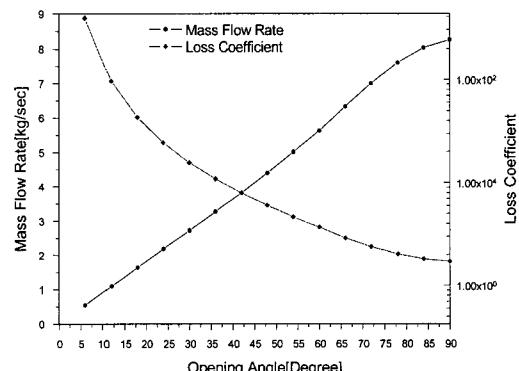


Fig. 12 Mass flow rate and pressure loss coefficient for coal air damper system.

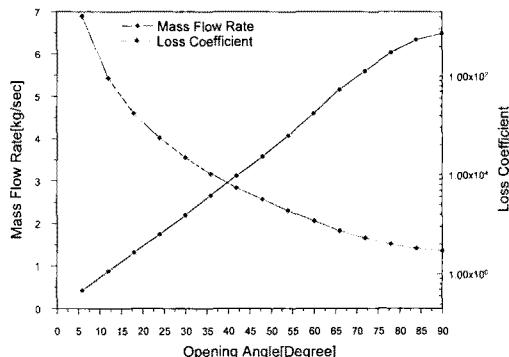


Fig. 13 Mass flow rate and pressure loss coefficient for end air damper system.

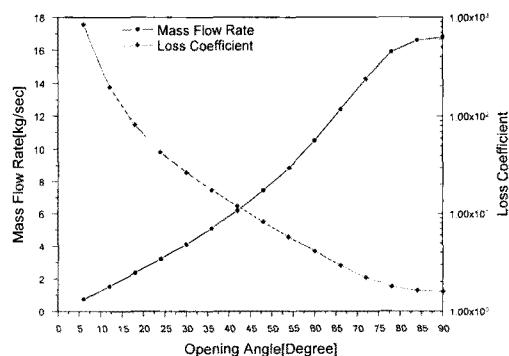


Fig. 14 Mass flow rate and pressure loss coefficient for SOFA air damper system.

### 3.3 Windbox 공기 유량 분포 해석

CFD에서 구한 각 텨퍼의 유량 및 압력 손실 특성 데이터를 이용하여 텨퍼 개도에 따른 32개 공기 노즐에서의 유량을 일차원 유동망 모델로부터 구하였다. A 화력발전소에서 입수한 2008년 4월 20일의 800MW 출력하 Windbox 텨퍼의 개도는 Table 1에 주어져 있으며 Windbox로 공급된 총 연소용 공기유량은 2821.3 ton/hr이었다. Table 1에는 통상 발전소에서 사용하는 텨퍼의 기호(A, ABA, ABB 등)를 그대로 표기하였으며 팔호에 텨퍼의 명칭을 표기하였다. 일차원 유동망 모델을 사용하여 구한 각 공기 노즐에서의 유량과 백분율도 Table 1에 함께 나타내었으며 Fig. 15에 32개 노즐에서의 유량을 막대 그래프로 나타내었다.

보일러 화로 최하단부의 A 레벨의 하단, 미분탄 및 보조공기 노즐 텨퍼의 개도는 70%, CFS 공기 노즐 텨퍼는 38%로서 상부의 다른 레벨의

Table 1 Results of flow network modelling

| Damper       | Damper Opening (%) | Flow rate (ton/hr) | Percentage (%) |
|--------------|--------------------|--------------------|----------------|
| SOFA-F       | 20                 | 20.211             | 2.866          |
| SOFA-E       | 50                 | 43.489             | 6.166          |
| SOFA-D       | 50                 | 43.489             | 6.166          |
| SOFA-C       | 50                 | 43.489             | 6.166          |
| SOFA-B       | 50                 | 43.489             | 6.166          |
| SOFA-A       | 50                 | 43.489             | 6.166          |
| CCOFA-B      | 40                 | 28.486             | 4.039          |
| CCOFA-A      | 40                 | 28.486             | 4.039          |
| FF(Top air)  | 38                 | 14.241             | 2.019          |
| F(Coal air)  | 53                 | 22.954             | 3.254          |
| EFF(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| EF(Aux. air) | 38                 | 27.387             | 3.883          |
| EFE(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| E(Coal air)  | 53                 | 22.954             | 3.254          |
| DEE(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| DE(Aux. air) | 38                 | 27.387             | 3.883          |
| DED(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| D(Coal air)  | 52                 | 22.668             | 3.214          |
| CDD(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| CD(Aux. air) | 38                 | 27.387             | 3.883          |
| CDC(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| C(Coal air)  | 52                 | 22.668             | 3.214          |
| BCC(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| BC(Aux. air) | 38                 | 27.387             | 3.883          |
| BCB(CFS)     | 19                 | 6.513              | 0.923          |
| B(Coal air)  | 52                 | 22.668             | 3.214          |
| ABB(CFS)     | 38                 | 12.050             | 1.708          |
| AB(Aux. air) | 38                 | 27.387             | 3.883          |
| ABA(CFS)     | 38                 | 12.050             | 1.708          |
| A(Coal air)  | 70                 | 26.945             | 3.820          |
| AA(Aux air)  | 70                 | 21.229             | 3.010          |
| AAA(End air) | 70                 | 21.229             | 3.010          |

템퍼 개도보다 더 큰 것을 볼 수 있다. B, C, D E, F 레벨의 보조공기 노즐 텨퍼는 38%, 미분탄 공기 노즐 텨퍼는 52%를 유지하고 있으며 CFS 공기 노즐 텨퍼는 상대적으로 작은 19%의 개도를 보여준다. CCOFA와 SOFA의 텨퍼 개도는 40%와 50%(F SOFA 개도는 20%)를 유지하고

있다. 특히 할 점은 NO<sub>x</sub> 생성 저감을 위하여 채택된 CFS 공기 노즐의 램퍼 개도가 상대적으로 적은 19%로 유지되고 있다는 점이다. 다른 램퍼는 38~52% 열려 있어 CFS 노즐을 통한 공기 공급량이 작으리라 예측할 수 있다. Fig. 15로부터 SOFA를 통한 공기 유량이 가장 많으며 CCOFA, 보조공기, 미분탄 공기, CFS 공기의 순으로 연소용 공기가 공급되고 있음을 알 수 있다.

일차원 유동망 모델을 이용하여 각 램퍼의 개도가 100%인 경우에 대하여 구한 각 노즐에서의 공기유량을 보일러 제작사에서 제시한 설계 데이터와 비교하였으며 이를 Table 2에 나타내었다. 설계값과 비교할 때 미분탄 공기(Coal air)가 약 3% 높게 계산되어지고 있으나 대체적으로 설계값과 유사한 공기 유량 분포를 보여주고 있다.

Table 1에 주어진 32개 노즐에서의 유량은 800 MW 운전조건하 실제 운전 데이터에 대하여 얻어진 결과로서 공기유량을 백분율로 환산하여 노즐 종류별로 Table 2에 나타내었다. SOFA, CCOFA, 보조공기(Light oil) 노즐을 통한 공기 유량은 설계값과 유사한 값을 보여주고 있으나 설계값인 19%에 비교하여 11%로 매우 작은 값을 보이고 있다. 이는 CFS 공기의 경우 램퍼 개도(19%)는 다른 램퍼 개도보다 상대적으로 매우 적기 때문인 것으로 보인다. 반면 다른 램퍼보다 큰 개도(53%)를 보여주는 미분탄 공기 유량은 설계값(12%) 보다 상대적으로 큰 20%를 보여주고 있다. 본 연구로부터 각종 공기 노즐의 램퍼 개도

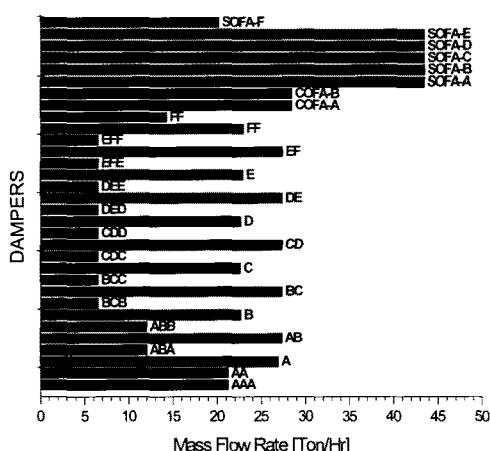


Fig. 15 Distribution of combustion air through the damper system.

Table 2 Comparisons of combustion air flow rate among designed and modelled values

| Air nozzle              | Design | Modelling for design | Modelling for Table 1 |
|-------------------------|--------|----------------------|-----------------------|
| SOFA                    | 32     | 31                   | 33                    |
| CCOFA                   | 10     | 8                    | 8                     |
| Aux. air<br>(Light oil) | 25     | 26                   | 27                    |
| Coal air                | 12     | 15                   | 20                    |
| CFS air                 | 19     | 18                   | 11                    |

에 따른 연소용 공기 분배는 설계 데이터와는 큰 차이를 보이는 것으로 계산되어졌다. 따라서 보일러 화로내의 연소 현상을 보다 명확히 분석하거나 CFD 시뮬레이션시 본 연구에서 살펴본 버너 레벨별 연소용 공기 유량 분포를 고려하여 해석하는 것이 필요할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 화력 발전소 보일러 화로내의 Windbox 내의 램퍼 시스템에 대한 CFD와 일차원 유동망 해석을 수행하였다. 이로부터 각종 공기 노즐의 램퍼 개도에 따른 공기 유량과 Windbox 내 각종 공기 노즐의 개도에 따른 공기 유량 분포를 계산하였다. 5개 공기 노즐의 형상과 유로에 따른 CFD 해석 결과 보조공기와 SOFA 램퍼의 개도에 따른 유동장의 변화 상태가 가장 큰 것을 볼 수 있었다. 램퍼의 개도(Opening angle)에 따른 5개 램퍼의 유량계수( $C_v$ )를 비교한 결과 CFS, 미분탄공기와 하단공기 램퍼는 서로 비슷한 값을 보여주었으나 SOFA와 보조공기 램퍼 시스템의 경우 개도가 커지면서 상대적으로 더 많은 유량이 흐르는 것을 볼 수 있으며 이에 따라 압력장과 유동장의 변화상태가 크게 나타나는 것으로 보인다.

램퍼 시스템을 구성하는 평판의 개수, 그리고 이들의 배치 모양에 따라 유량곡선과 손실 계수가 다르게 나타났으며 CFD 해석 결과에서와 같이 보조공기와 SOFA 램퍼 시스템의 압력 손실 계수가 다른 램퍼들보다 상대적으로 큰 것을 알 수 있었다. 보일러 Windbox 내의 각종 램퍼 시스템에 대한 일차원 유동망 해석 결과 실제 램퍼

개도에 근거하여 계산된 노즐별 공기 유량의 분포는 설계 데이터와 비교하여 다른 분포를 보였주었다. 보일러 화로내의 연소, 혹은 전열해석 시본 연구에서 얻어진 공기 유량 분포 결과를 사용하여 보다 신뢰성 있는 해석 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. Smoot, L. D., 1993, Fundamentals of coal combustion for clean and efficient use, El-sevier, New York, pp. 29-31.
2. KEPCO., Hyundai heavy industry., Operation Guide Book for coal fired power plant, 2005.
3. KEPCO., Hyundai heavy industry., Maintenance Guide Book for coal fired power plant, Vol. 1, 2005.
4. Lockwood, F. C., Papadopoulos, C., and Abbs., A. S.; 1988, Prediction of corner-fired power station combustor, Combust. Sci. Technol., Vol. 58, pp. 5-23.
5. Fan., J. R., Sun, P., Zeng, Y. Q., Ma, Y. L., and Cen, K. F., 1999, Numerical and experimental investigation on the reduction of NOx emission in a 600MW utility furnace by using OFA, Fuel, Vol. 78, pp. 1387-1394.
6. Fan., J. R., Qian, L., Ma, Y., Sun, P., and Cen, K. F., 2001, Computational modeling of pulverized coal combustion processes in tangentially fired furnaces, Chemical Engineering Journal, Vol. 81, pp. 261-269.
7. Yin, C., Caillat, S., Harion, J. L., Baudoin, B. and Perez, E., 2002, Investigation of the flow, combustion, heat-transfer and emissions from a 609 MW utility tangentially fired pulverized-coal boiler, Fuel, Vol. 81, pp. 997-1006.
8. Yin, C., Rosendahl L., and Condra, T. J., 2003, Further study of the gas temperature deviation in large-scale tangentially coalired boilers, Fuel, Vol. 82, pp. 1127-1137.
9. Park, H. Y., and Kim, Y. J., 2008, Studies on the combustion characteristics and NO distribution in the pulverized coal fired boiler, J. of KSEE, Vol. 30, pp. 552-559.
10. FLUENT v6.0, 2006, User's Guide.
11. Jeong, H., Rhee, K. N., Ryu, S. R., Yeo, M. S. and Kim, K. W., 2007, A study on the strategy of noise prevention by cavitation for radiant floor heating (ondol) system, Architecture and urban research information center, Vol. 1, pp. 14-22.
12. Park, H. Y., and Kim, S. C., 2008, A study on the uniform distribution of steam flow in the superheater tube system, J. of SA-REK, Vol. 20, pp. 416-426.
13. Sousen, P. L., 2006, Valve Handbook, McGraw-Hill, New York, pp. 250-251.