

석탄화력 보일러 연소열성능 해석 : 온도와 열에너지 분포를 중심으로

서 상 일, 박 호 영[†], 이 성 노^{*}

한전 전력연구원 신발전연구소그룹, ^{*}충남대학교 기계공학과

Computational Studies on the Combustion and Thermal Performance of the Coal Fired Utility Boiler : Temperature and Thermal Energy Distribution

Sang Il Seo, Ho Young Park[†], Sung No Lee^{*}

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

^{}Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Yusung-Gu, Daejeon, Korea*

(Received December 30, 2008; revision received February 4, 2009)

ABSTRACT: The pulverized coal combustion behavior in the coal fired utility boiler has been investigated with the CFD and process analysis techniques. The used commercial software were CFX and PROATES, and these were coupled each other to get more reliable boundary condition set-up, resulting in more reliable solution. For two cases which were the actual operation condition of A power plant, the calculated values from the coupled CFD and process analysis for thermal energy system were compared with the plant data, and the good agreements were obtained for Case 1 and 2. The calculated temperature distributions on the surface of heat exchangers were compared with the plant data for the steam temperatures across heat exchangers, and these explained the actual operating situation very well. The temperature deviation across the final superheater tube, which was believed to be the main cause of the frequent tube failure, were also explained very well with the calculated distributions of gas temperature and radiation on the plane of the final superheater.

Key words: Thermal performance(열성능), Heat adsorption(열흡수), 버너(Burner), Radiation intensity(복사강도), Thermal energy(열에너지)

1. 서 론

최근 대형 미분탄 보일러의 실제 운전조건을 고려한 전산해석 연구가 활발히 수행되고 있으며, 이로부터 보일러의 안정적인 운전과 효율향상에 필요한 여러 가지 유용한 정보를 얻고 있다.⁽¹⁻⁸⁾

보일러내 전산해석시 화로 및 전열관군에서의 경계조건은 설계 데이터나 실제 운전데이터를 참고하여 벽면 온도, 혹은 열흡수량을 가정하여 계산을 수행하고 있다. 그러나 보일러의 운전 조건 즉, 출력, 미분탄 버너에서의 연소조건, 탄종등에 따라 벽면 온도와 열흡수량이 변하게 되어 정확한 해석을 위해서는 운전상황에 맞는 경계조건의 설정이 필요하다. 보다 정확한 보일러내 연소현상 해석을 위하여 물/증기(Steam/Water) 사이클에 대한 열성능 해석, 열유동해석시 벽면온도 및

[†] Corresponding author

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

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

전열관군에서의 열흡수량등 서로 필요한 데이터를 주고 받으며 동시에 연계(Coupled)하여 계산하는 것이 시도되어지고 있다. 이러한 해석 방법은 미국 vision 21 Program에서 사용한 것으로 보고 되어지고 있으며⁽⁹⁾ 유럽 EC(European Community)의 지원을 받은 포르투갈의 ACORDE 프로젝트에서 Sines 발전소 보일러를 대상으로 연계해석(Coupled calculation)을 수행한 것으로 알려져 있다.⁽¹⁰⁾

한편, 코너 연소(Corner firing) 방식을 채용한 석탄화력발전소에서는 화로에서의 연소가스 순회유동이 대류 전열부로 이동하면서 과열기(Superheater)와 재열기(Reheater) 부분에서 잔류하게 되어 한쪽으로 편향되어 흐르게 된다. 이때 이들 관군에서의 열부하 편차로 인한 튜브 파열로 파열이 발생하곤 한다.⁽¹¹⁻¹³⁾ 이러한 보일러 튜브의 파열은 보일러의 안정적인 운전, 유지 보수 측면에서 최소화하여야 한다. 발전소 현장에서는 잔류 순회유동에 의한 전열관군에서의 열부하 편차를 줄이기 위하여 보일러 미분탄 버너와 연소용 공기의 분사각도를 변경하여 해당 전열관군에서의 열부하 분포를 균일하게 조정하는 방안이 시도되어지고 있다.⁽¹⁴⁾

본 연구에서는 국내 최대 용량의 발전용 보일러인 A 화력발전소 보일러를 대상으로 실제 운전 조건하에서 보일러 내부의 열유동 및 열성능을 연계 해석하고 이를 실제 운전 데이터와 비교하여 해석의 신뢰성을 검증하고자 한다. 연소 해석은 상용 전산해석 코드인 CFX 11.0⁽¹⁵⁾을 사용하고 열성능해석은 영국 E.ON-UK(구 Power-Gen)의 PROATES Code⁽¹⁶⁾를 사용하였다. 각 운전 조건하에서의 전열관군의 온도 분포를 살펴보고, 튜브 파열 사고가 빈번히 발생한 최종 과열기 전단에서의 열유동 특성을 분석하였으며 이를 관련된 실제 운전 데이터와 비교, 분석하였다. 본 연구를 통하여 연소열성능 연계해석의 신뢰성을 살펴보고 미분탄 버너에서의 연소조건에 따라 전열관군에서의 열유동 분포가 어떻게 변하는지를 살펴보고자 한다.

2. 해석 대상 보일러

본 연구 대상인 A 화력발전소 보일러에 대한 전체 구조와 화로내 버너, 노즐 및 연소조건에 대한

설명은 다른 문헌에 자세히 소개되어 있다.⁽¹⁷⁾ 보일러는 높이가 약 71 m, 가로, 세로가 각각 19.5 m로서, 초입계압, 관류형 보일러로서 화로(Furnace)의 6층의 버너에서 연소된 미분탄 연소 가스는 화로 상부의 각종 전열 관군, 즉 복사 과열기(Division and Platen Superheater), 최종재열기(Final Reheater), 최종 과열기(Final Super-heater), 재열기(Reheater), 절탄기(Economizer)를 거치며 열교환이 이루어진다.⁽¹⁸⁻¹⁹⁾ Fig. 1은 보일러내 미분탄 버너와 각종 공기노즐을 개략적으로 보여준다. 보일러내 미분탄 버너들은 보일러의 4개 코너에 6층에 총 24개가 설치되어 있으며 미분탄 버너 상하로 각종 연소용 2차 공기 노즐이 설치되어 있다. 미분탄 버너는 아래부터 위쪽으로 A, B, C, D, E, F로 호칭되며 미분탄과 연소용 2차 공기의 공급시 수직 방향 분사각(Tilt Angle)을 -30°에서 +30°까지 조절할 수 있다.

Fig. 2는 미분탄-공기 혼합물이 코너의 버너로부터 연소로 중심부로 분사될때의 수평 분사각을 보여주는 그림이다. 각 코너에서 분사된 석탄-공기 혼합물은 연소로 중앙부에 구형의 화염(Fire Ball)을 형성하고 보일러 상부에서 볼 때 시계방향으로 순회를 하며 화로 출구로 연소가스가 이동하게 된다. 이때 미분탄-공기 혼합물의 분사방

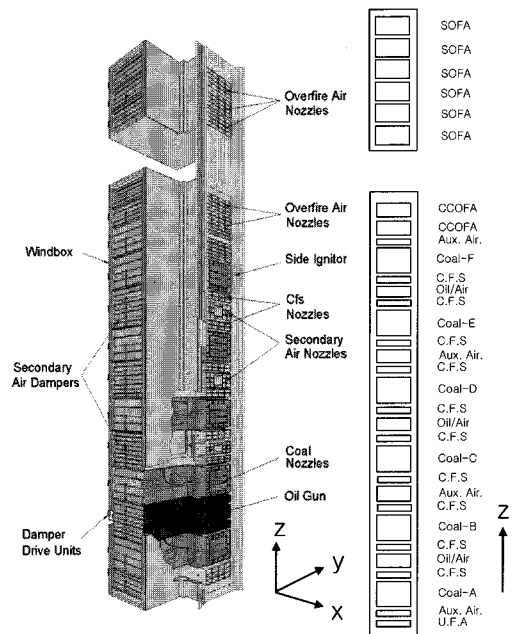


Fig. 1 Burner arrangement and dampers.

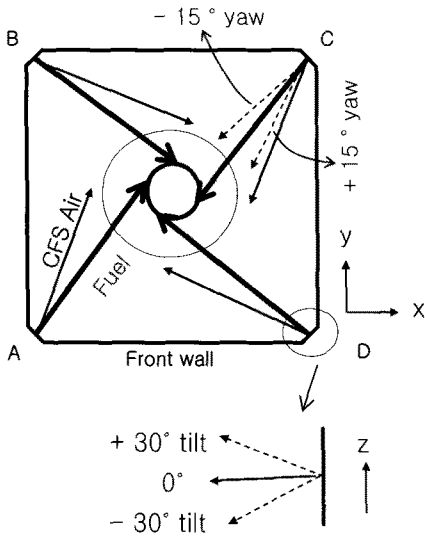


Fig. 2 Yaw and tilt angle.

향과 22° 차이를 가지고 연소용 공기(CFS : Concentric Firing System)가 공급되어지고 있다. 이는 NOx의 발생이 적은 연료과잉의 미분탄 화염을 형성시키는 저 NOx 버너인 LNCFS(Low NOx Concentric Firing System)의 원리를 보여주는 것이다. 6층의 미분탄 버너와 CFS 중간 중간에 보조공기(Aux. air) 노즐이 4개가 설치되어 있으며 버너 최상부의 CCOFA(Closed Coupled Over-Fire Air) 노즐이 2단으로 설치되어 있다. 또한 화염이 형성된 평면의 상부에는 연소로 하단부의 연료과잉조건에서 발생된 미연성분의 연소를 위한 6개의 공기 노즐(SOFA : Separated Over Fire Air)이 설치되어 있다. 보일러내의 보조공기, CCOFA, 그리고 SOFA 노즐의 수평분사각은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 ±15°로 조정이 가능하다.

3. 모델링

Fig. 3은 연소전산 해석을 위한 보일러의 계산 격자와 버너 및 각종 연소용 공기 노즐에서의 격자 형상을 보여주고 있다. 보일러내 각종 전열관군은 다공체(Porous media)의 체적(Volume)으로 처리하여 연소가스가 가진 열을 흡수하는 heat sink와 가스상의 momentum sink가 발생하는 것으로 모사하였다. 각 전열관군에서의 압력강하는 실측 운전데이터를, 열흡수량은 열성능 계산에 의

하여 얻어진 값을 사용하였다. 운동량 해석에 있어서는 3차원 Navier-Stokes 방정식을, 난류모델은 $k-\epsilon$ 모델을, 복사모델은 Discrete Transfer 모델⁽²⁰⁾을 사용하였고, 가스상의 반응에 대해서는 Eddy Dissipation⁽²¹⁻²²⁾ 모델을 사용하였다. 난류 운동장내 미분탄의 연소반응은 탈휘발화 반응과 탈휘발화 잔류물인 char의 산화반응으로 구분하였다. 탈휘발화 반응은 일차 탈휘발화모델인 Badzioch and Hawksley⁽²³⁾의 속도상수를 사용하였으며 Char 반응은 Field의 모델⁽²⁴⁾을 사용하였다. 석탄내의 질소성분은 휘발화시 HCN으로 방출되며 3가지 메카니즘, 즉 Thermal, Prompt, 그리고 Fuel NOx 메카니즘을 모두 고려하였다. 또한 CHx 성분과 촉(Char)에 의한 NOx reduction mechanism도 고려되었으며 모든 반응은 Global mechanism을 사용하였다.⁽¹⁶⁾

해석 대상 보일러의 계산격자는 약 150만 개의 노드(Node)를 가진 약 600만 요소의 사면체(Tetrahedral Element)의 격자가 사용되었으며 CFX 11.0을 사용하였다. 수렴조건으로 질량, 속도 및 난류장, 온도장과 농도장의 Imbalance 값이 2% 이하일 경우 수렴한 것으로 판정하였으며 기존의 수렴된 해를 초기조건으로 하여 약 36시간이 소요되었다.

석탄화력 보일러의 열성능해석은 영국 E.ON-UK의 Power Technology에서 개발하여 전세계적으로 적용되고 있는 PROATES(PROcess Analysis for Thermal Energy System)를 사용하였다. PROATES는 정상상태에서 열성능(Thermal Performance)을 분석, 예측 및 개선하기 위한 발전플랜트의 모델링 소프트웨어로서 플랜트의 구성 요소(터빈, 추기 히터, 공기에열기, 전열관군 등등)등을 모사할 수 있는 수많은 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 입, 출구에서의 증기/물(Steam/water), 가스(공기 포함), 열/동력(Heat/Power)에 대한 일련의 운동량과 에너지 방정식으로 구성되어 있다. 이러한 모듈을 서로 연결하여 전체 발전시스템을 일차원 모델링하고 개개의 모듈은 기본 제원, 물성치등의 물리적 데이터뿐만 아니라 전체 시스템에 대하여 열에너지, 물질 수지를 계산하게 된다. PROATES에서는 플랜트의 모델링을 모듈화, 그래픽화 하여 사용자 편의성을 갖추고 있어 운전 변수나 설계 데이터를 쉽게 바꿀 수 있으며 다른 플랜트로의 적용도 비교적 쉬운 구조로 되어 있다.

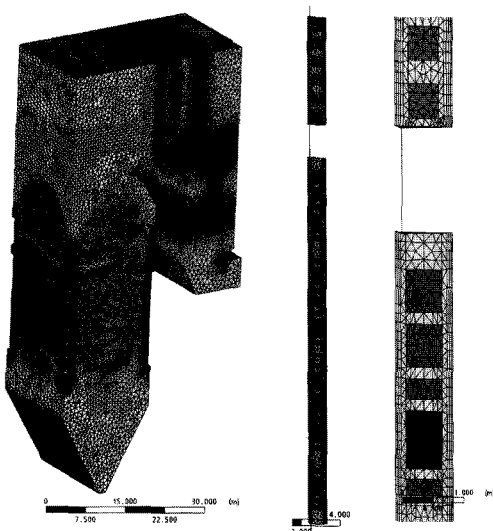


Fig. 3 Grid for boiler and burners.

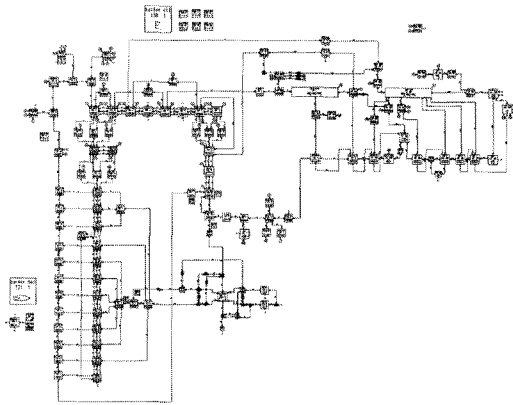


Fig. 4 PROATES modelling for A power plant.

Fig. 4는 PROATES로 모델링한 A 화력발전소의 열성능 모델을 보여준다. 전체 플랜트의 열 에너지와 물질수지를 위하여 보일러 뿐만 아니라 터빈에 대해서도 모델링하였다. 그림에서 각 단위기기를 나타내는 사각형의 모듈을 이어주는 라인은 연소용 공기와 연소배가스등의 가스흐름(Stream), 증기/물 사이클(Steam/Water cycle)의 흐름과 열에너지(Thermal energy)의 흐름을 나타내고 있다.⁽¹⁶⁾ 모델은 보일러 화로, 1, 2차 과열기, 재열기, 절탄기, 송풍기(Fan), 공기예열기(Air Heater), 고압터빈(HP Turbine), 고압 추기히터(HP Heater), 복수기(Condenser) 등 A 화력발전소

의 모든 단위 기기가 사각형으로 표시되어 있다.

4. 해석 조건

A 화력발전소 1호기 보일러의 실제 운전조건인 Case 1과 Case 2에 대하여 연계해석을 수행하였다. Case 1은 2008년 2월 15일 12:00~14:00의 운전상황을 해석 조건으로 하였다. 이때 출력은 795 MW, 탄종은 Felix탄과 Elk탄을 70% : 30%의 비율로 혼소하였으며 버너는 A-E 버너를 사용한 경우이다. Case 2는 2008년 2월 20일 16:00~18:00의 운전상황으로서 출력이 795 MW, Felix탄과 Indominco탄을 각각 50% 혼합하여 연

Table 1 Coal properties for Case 1 and 2

Coal	Ultimate analysis(dry, wt. %)					
	C	H	O	N	S	Ash
Felix	70.75	4.50	6.10	2.21	0.40	16.04
Indominco	72.83	5.25	12.92	1.20	0.51	7.29
Elk	80.91	4.37	2.37	1.28	0.31	10.76
Coal	TM ¹⁾	HHV ²⁾ (kcal/kg)	Proximate(dry, wt.%)			
			IM ³⁾	FC ⁴⁾	VM ⁵⁾	Ash
Felix	9.20	6218	3.42	50.35	30.75	15.48
Indominco	14.27	5986	11.36	42.02	40.15	6.47
Elk	11.33	6544	4.52	55.95	29.26	10.27

주) 1) TM : Total Moisture, 2) HHV : High Heating Value, 3) IM : Inherent Moisture, 4) FC : Fixed Carbon, 5) VM : Volatile Matter

Table 2 Tilt and yaw angles for Case 1 and 2

Corner	Case 1				Case 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Burner tilt(°)	0	0	0	0	0	0	0	0
SOFA tilt(°)	-15	-15	-15	-15	-15	0	-15	-15
SOFA yaw(°)	0	-15	0	-15	0	-15	0	-15
CCOFA yaw(°)	-15	0	0	0	+15	-15	+15	0
Aux Air yaw(°)	-15	0	0	0	+15	0	+15	0

소한 경우이며 A-E 버너를 운전하고 있었다. 사용된 석탄의 성상은 Table 1과 같으며 버너와 SOFA 수직 분사각도, SOFA, CCOFA, 그리고 Aux. air의 수평분사 각도는 Table 2에 정리되어 있다.

5. 해석결과 및 고찰

5.1 해석 결과의 신뢰성 검증

Case 1과 Case 2에 대한 해석 결과를 발전소 현장에서 측정가능한 데이터와 비교하여 해석의 신뢰성을 점검하였다. 보일러의 연소해석 결과는 화염측(Fire-side) 실측 데이터와 비교하여야 하는데 현재는 보일러 출구인 절탄기 출구에서의 가스온도, 산소 및 NO 농도만이 실측 가능한 데이터이다. 보일러 열성능 해석 결과는 많은 비교 데이터가 있으나 그중에서 중요한 몇가지만을 해석 결과와 비교하였다. Table 3은 Case 1, Case 2에 대한 해석 결과를 실측 데이터와 비교한 것이다.

열성능 해석 결과를 실측 데이터와 비교시 그 오차 범위가 1% 미만으로 나타나고 있다. 또한 절탄기 출구에서의 가스 온도, O₂ 및 NO 농도의 경우도 운전 데이터와 잘 일치하고 있음을 보여

준다. 최근 발전소 현장에서 계획예방정비공사후에 최종과열기 표면에 단열 처리된 열전대를 설치하고 과열기 전단의 가스온도 분포를 측정함 바 있다. 측정된 화로 단면에서의 가스온도 분포는 본 연구의 연소열성능 해석방법으로 계산한 온도 분포와 매우 근사한 값을 보여주고 있음을 보여주었다.⁽¹⁴⁾ 이로부터 Table 3에서의 비교 데이터, 그리고 현장에서의 측정 결과로부터 본 해석이 상당히 신뢰성 있는 결과임을 알 수 있었다.

5.2 발전소 운전 데이터 분석

Case 1은 보일러 최종 과열기 좌우측 주증기 온도편차가 큰 경우(Case 1)와 적은 경우(Case 2)에 대한 연소열성능 해석이었다. 이는 연소 조건(Tilt/Yaw 각도의 코너별 변경)의 조정으로 최종과열기의 주증기 온도편차가 다르게 나타난 경우이며 이때 현장의 전체적인 운전상황을 서로 비교, 분석하는 것이 필요하다. Fig. 5와 Fig. 6은 Case 1과 Case 2에 주요 전열관군에서의 입, 출구 증기온도를 보여주는 실시간 운전 데이터, 즉 PI(Plant Information) 데이터를 나타낸 것이다.

Case 1의 경우 좌측 최종과열기의 입구 증기온도는 511.1 °C이고 출구에서는 555.8.1~583.1 °C인 것을 알 수 있다. 우측의 경우 입구온도는 519.9 °C, 출구에서 564.4~568.6 °C이다. 이는 좌측 최종과열기에서의 열흡수량이 오른쪽보다 매우 큰 것을 나타내주며 좌측 과열기에서도 좌측이 다시 약 30 °C 더 높은 것을 보여준다. Case 2의 경우 좌측 최종과열기의 증기온도는 511.7 °C에서 565.4~570.3 °C으로 증가되고 우측의 경우 521.7에서 565.3~568.5 °C로 증가됨을 보여준다. Case 2는 Case 1과 비교하여 좌, 우측의 최종과열기에서의 열흡수량이 비교적 균등하게 이루어지는 것을 알 수 있다.

한편, 보일러 상부에 설치되어 있는 여러 전열관군에서의 증기온도로부터 보일러내 연소해석 결과가 합당한지를 살펴 볼 수 있다. 보일러 화로를 지나온 연소가스가 처음 만나게 되는 Division S/H의 출구 증기온도는 Case 1의 경우 좌측은 484.7°C이며 이때 입출구 온도차(ΔT)는 51.7 °C이었으며, 우측은 505.7 °C이고 입출구 온도차(ΔT)는 79.5 °C이었다. Case 2는 좌측 485.1 °C(ΔT = 44.7 °C), 우측 508.4 °C(ΔT = 73.4 °C) 임을 보여준다. 그 다음의 Platen S/H 출구 증기온도는

Table 3 Comparisons of the measured values with the calculated ones for Case 1 and 2

Boiler Properties		Measured	PROATES	CFX
Final R/H Stm Pr.(bar)	Case 1	39.4	39.53	
	Case 2	39.71	39.77	
Final R/H Stm Temp.(°C)	Case 1	564.13	564.45	
	Case 2	558.65	556.81	
Evaporator Stm Temp.(°C)	Case 1	432.17	435.70	
	Case 2	434.85	431.86	
Sec. Eco. Water Temp.(°C)	Case 1	342.27	345.09	
	Case 2	343.23	344.16	
Sec. Eco. Gas Temp.(°C)	Case 1	380	393.55	389
	Case 2	384	393.09	399
Sec. Eco. O2(%)	Case 1	3.13	3.56	3.7
	Case 2	3.12	3.56	3.7
Sec. Eco. NO(ppm)	Case 1	187		186
	Case 2	148		133

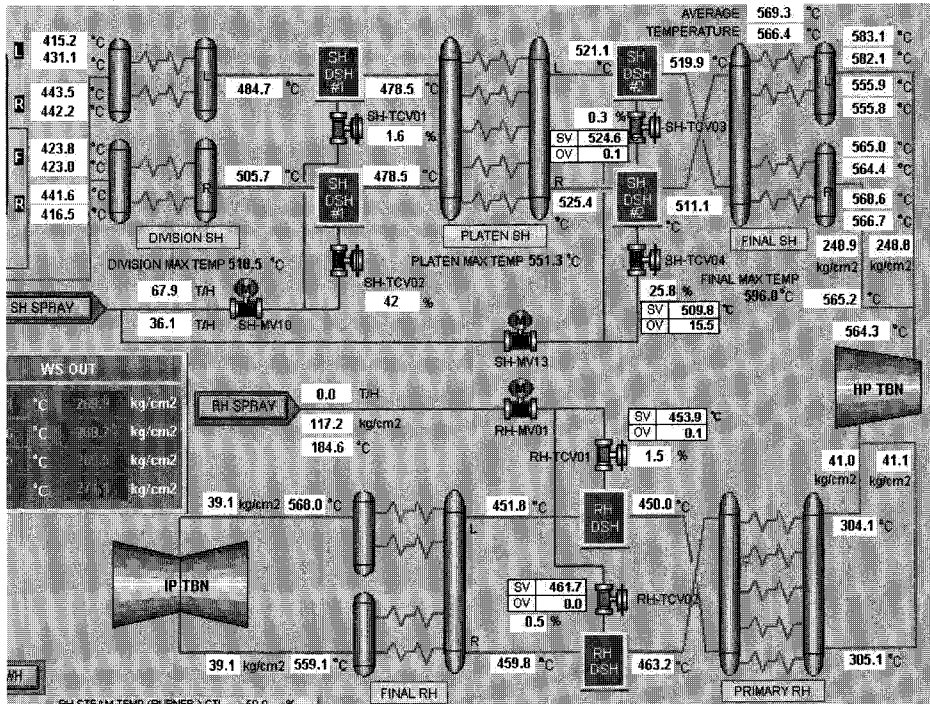


Fig. 5 Plant operation data for Case 1.

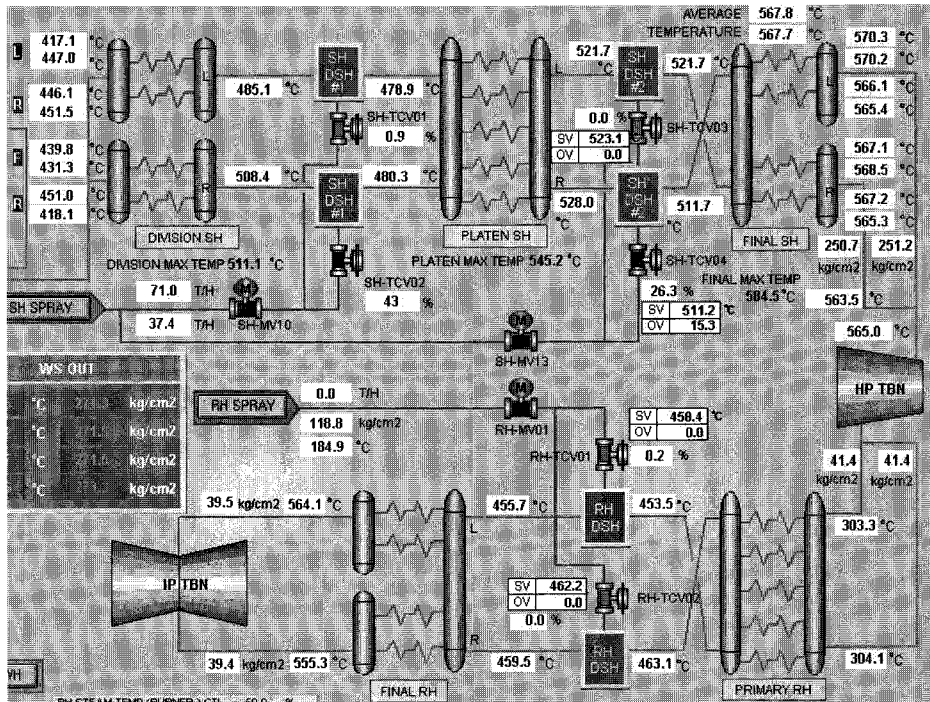


Fig. 6 Plant operation data for Case 2.

Case 1의 경우 좌측 521.1 °C($\Delta T = 42.6$ °C), 우측 525.4 °C($\Delta T = 46.9$ °C)이며 Case 2는 좌측 521.7 °C($\Delta T = 42.8$ °C), 우측 528.0 °C($\Delta T = 47.7$ °C)임을 보여준다. 그 다음의 Final R/H 출구 증기 온도(Fig. 5와 Fig. 6의 좌측 하단)는 Case 1의 경우 좌측 568.0 °C($\Delta T = 116.2$ °C), 우측 559.1 °C($\Delta T = 99.3$ °C)이고, Case 2는 좌측 564.1 °C($\Delta T = 108.4$ °C), 우측 555.3 °C($\Delta T = 95.8$ °C)임을 보여준다. 이상의 운전 상황을 정리하면 화로 상부의 Division and Platen S/H는 우측의 열흡수율이 높게 유지되고 있으며 Final R/H의 입출구 증기 온도를 고려하면 좌측의 열흡수율이 약간 더 높은 것을 알 수 있다.

5.3 전열관군 표면온도 해석 결과

Case 1과 Case 2는 Table 2에서와 같이 화로 내 버너의 수직, 수평 분사각도가 서로 다르며 연소용 공기 노즐의 수평 수직 각도도 서로 다르

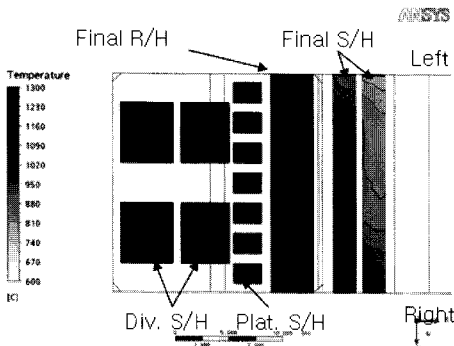


Fig. 7 Surface temperature of heat exchangers for Case 1.

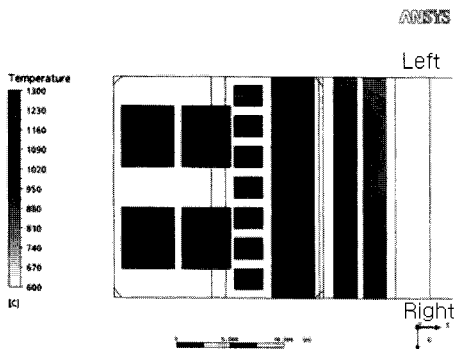


Fig. 8 Surface temperature of heat exchangers for Case 2.

게 운전 되고 있는 경우이다. Fig. 7과 Fig. 8은 보일러 하부에서 위쪽으로 바라보았을 때 Case 1과 Case 2에서의 전열관군의 표면 온도 분포의 해석 결과이다. Case 1, Case 2 모두 Division S/H의 표면 온도가 오른쪽이 더 높은 것을 볼 수 있으며 Platen S/H의 경우도 오른쪽의 온도가 더 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. Final R/H의 표면온도는 두 가지 경우 모두 앞의 전열관군보다 좀 더 균일하게 분포하는 것을 볼 수 있다. 최종 과열기의 경우 Case 1의 온도분포는 왼쪽으로 치우쳐져 있으나 Case 2의 경우는 좀 더 균일하게 분포함을 볼 수 있다. 이는 Fig. 5와 Fig. 6의 현장 데이터와도 부합되는 해석 결과를 보여주는 것이다.

5.4 최종과열기 전단 가스온도 해석 결과

Fig. 9와 Fig. 10은 최종 과열기 전단에서의 가스온도 분포에 대한 해석 결과이다. 가스온도 분포는 전체적으로 서로 비슷하지만 하단부의 분포가 약간 다르게 나타나고 있다. Case 2(Fig. 10)의 경우 가스 온도가 하단부에서 고온부위가 좀 더 널리 분포하고 있으나 Case 1(Fig. 9)의 경우 왼쪽 하단부에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 이는 Fig. 5와 Fig. 6의 운전데이터와도 부합되는 해석 결과이다. 한편, 최종과열기 관군은 왼쪽에서 오른쪽까지 총 84열로 이루어져 있으며 4열 간격으로 출구 헤더 전단, 즉 최종과열기 출구 튜브의 표면 금속온도를 총 21개소에서 측정하고 있다. 통상 튜브 표면온도는 증기온도와 거의 같다고 알려져 있어 이들 온도 분포로부터 열부하 분포를 예측할 수 있다. Fig. 11은 최종과열기 21개 열에서의 튜브 표면온도와 최종과열기 전단에서의 평균 가스온도를 서로 비교한 것이다. Case 2의 최종과열기 튜브 금속온도의 측정값은 좌우 편차가 크지 않고 균일한 상태를 보이나 Case 1의 경우 좌측이 높고 중앙으로 갈수록 감소하다가 오른쪽에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 가스 온도분포도 Case 1의 경우가 Case 2의 경우 보다 횡방향으로 좀 더 균일하게 분포하는 것을 Fig. 11에서 볼 수 있다.

5.5 최종과열기 전단 복사강도 해석 결과

최종과열기 튜브의 금속온도는 최종 과열기 전

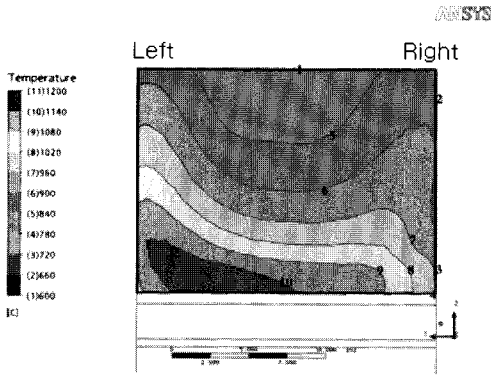


Fig. 9 Gas temperature in front of final S/H for Case 1.

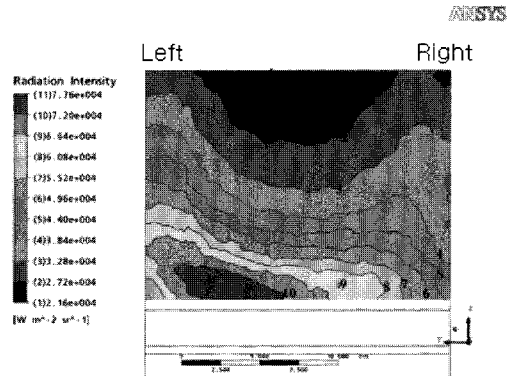


Fig. 12 Radiation intensity in front of final S/H for Case 1.

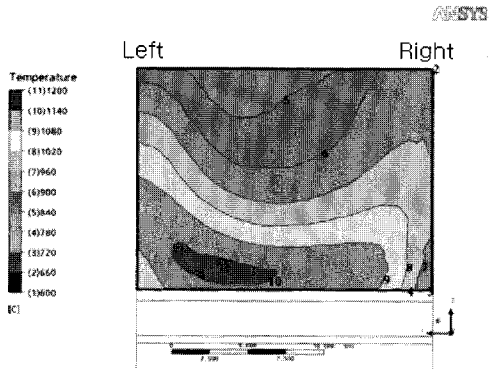


Fig. 10 Gas temperature in front of final S/H for Case 2.

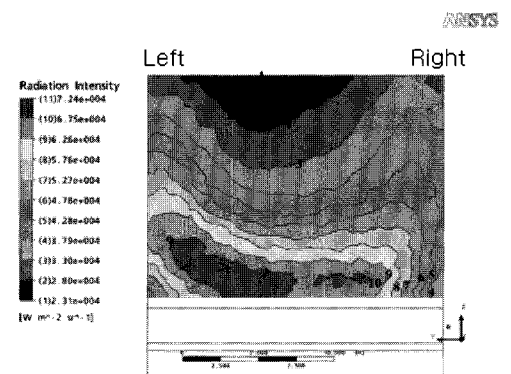


Fig. 13 Radiation intensity in front of final S/H for Case 2.

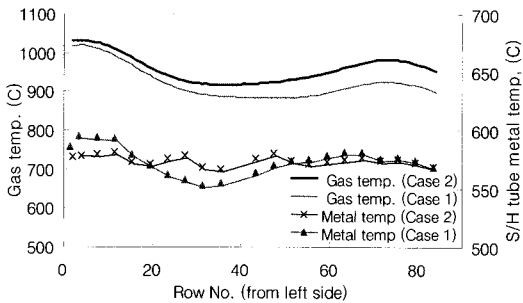


Fig. 11 Comparisons of gas temperature with tube metal temperature for Case 1 and 2.

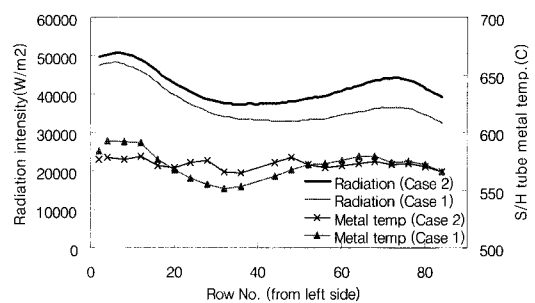


Fig. 14 Comparisons of radiation intensity with tube metal temperature for Case 1 and 2.

단의 복사강도에 의해서도 영향을 받으므로 그 분포를 비교해 보아야 한다. Fig. 12와 Fig. 13은 Case 1과 Case 2에 대한 해석 결과이다. Case 2의 경우가 좀 더 균일하게 분포하는 것을 볼 수 있으며 복사 강도 구배로부터 Case 2의 복사강도

의 횡방향 분포가 좀 더 완만한 것을 볼 수 있다. Fig. 14는 Case 1, Case 2의 복사 강도를 측정된 튜브 금속온도와 서로 비교한 것으로 횡방향 복사강도의 분포가 Case 2에서 좀 더 완만하게 나타남을 볼 수 있다.

6. 결 론

국내 A 화력발전소의 보일러를 대상으로 연소 열성능 해석 모델을 구축하고 실제 운용중인 탄종과 운전조건을 기준으로 보일러 내부의 연소 및 열유동특성, 그리고 열성능해석을 수행하였다. 해석 결과를 실측 데이터와 비교한 결과 연소와 열성능 두 부분 모두 잘 일치하는 결과를 보여주었다. 또한 화로 상부의 Division and Platen S/H의 튜브 표면 온도가 우측에서 높게 예측되고 Final S/H의 경우 좌측이 높게 나타나고 있으며 이는 실제의 운전상황과 일치하는 결과를 보여 주었다. 발전소 실제 운전조건인 Case 1과 2의 경우에 대한 실제 운전 데이터(주요 전열관군의 증기온도, 최종과열기의 튜브 금속온도)는 해석 결과(전열관군 표면온도, 최종과열기 전단 가스온도 및 복사 강도)와 서로 일치하는 경향을 보여주었다. 화로내의 미분탄 버너와 각종 공기노즐의 수평, 수직 분사각도를 조정하여 최종과열기의 증기 온도 편차가 저감될 수 있으며 연소 해석 결과로부터도 이를 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Yin, C., Caillat, S., Harion, J. L., Baudoin, B. and Perez, E., 2002, Investigation of the flow, combustion, heat-transfer and emissions from a 609MW utility tangentially fired pulverized-coal boiler, *Fuel*, Vol. 81, pp. 997-1006.
5. Yin, C., Rosendahl L. and Condra, T. J., 2003,

Further study of the gas temperature deviation in large-scale tangentially coal-fired boilers, *Fuel*, Vol. 82, pp. 1127-1137.

6. Le Bis, T., Cadavid, F., Caillat, S., Pietrzyk, S., Blondin, J. and Baudoin, B., 2007, Coal combustion modelling of large power plant for NOx abatement, *Fuel*, Vol. 86, pp. 2213-2220.
7. Diez, L. I., Cortes, C. and Pallares, J., 2008, Numerical investigation of NOx emissions from a tangentially-fired utility boiler under conventional and overfire air operation, *Fuel*, Vol. 87, pp. 1259-1269.
8. Spitz, N., Saveliev, R., Perelman, M., Korytni, E., Chudnovsky, B., Talanker, A. and Bar-Ziv, E., 2008, Firing a sub-bituminous coal in pulverized coal boilers configured for bituminous coals, *Fuel*, Vol. 87, pp. 1534-1542.
9. Syamlal, M., Felix, P. E., Osawe, M. O., Fiveland, W. A., Sloan, D. G., Zitney, S. E., Joop, F., Cleetus, J. and Lapshin, I. B., 2001, Virtual simulation of vision 21 energy plants, Vision 21 program review meeting.
10. Neves, M., Gimenez, A. and Carvalho, M. G., 1999, Development of advanced control methodologies using reliable multidetection sensors for boilers, *Power Gen Europe 1999*.
11. Xu, L., Khan, J. A. and Chen, Z., 2000, Thermal load deviation model for super-heater and reheater of a utility boiler, *Applied thermal engineering*, Vol. 20, pp. 545-558.
12. Park, H. Y. and Kim, S. C., 2008, A study on the uniform distribution of steam flow in the superheater tube system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 20, pp. 416-426.
13. Park, H. Y. and Seo S. I., 2008, Prediction of thermal load distribution and temperature of the superheater in a tangentially fired boiler, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 20, pp. 478-485.
14. Kim, D. W., 2008, Studies on the thermal load deviation of the super heater in the utility boiler, *Power Generation Industry Con-*

- ference 2008.
15. ANSYS, CFX 11.0 User's Guide, 2005.
 16. Power Technology(E.ON-UK), PROATES User's Guide, 2007.
 17. 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.
 18. KEPCO., Hyundai heavy industry., 2005, Operation Guide Book for coal fired power plant.
 19. KEPCO., Hyundai heavy industry., 2005, Maintenance Guide Book for coal fired power plant, Vol. I.
 20. Siegel, R. and Howell, J. R., 1992, Thermal radiation Heat Transfer, Hemisphere Publishing Corporation, Washington D. C.
 21. Magnussen, B. F. and Hjertager, B. H., 1976, On Mathematical Models of Turbulent Combustion with Special Emphasis on Soot Formation and Combustion, 16th Symp.(Int'l) on Combustion, Cambridge, MA, Aug. pp. 15-20.
 22. Spalding, D. B., 1970, Mixing and Chemical Reaction in Steady Confined Turbulent Flames, 13th Symp.(Int'l). on Combustion, The Combustion Inst., Salt Lake City, UT, Aug. pp.23-29.
 23. Badzioch, S. and Hawksley, P. G. W., 1970, Kinetics of thermal decomposition of pulverized coal particles, Ind. Eng. Chem. Proc. design Dev., Vol. 9, pp. 521.
 24. Field, M. A., 1969, Rate of Combustion of Size-Graded Fractions of Char from a Low Rank Coal between 1200 K-2000 K, Combustion and Flame, Vol. 13, pp. 237-252.