

화력발전소 터빈 본관의 환풍기 위치 및 용량 최적화에 관한 연구

김태권* · 하지수*[†] · 박찬혁**

*계명대학교 기계자동차공학과, **계명대학교 기계공학과

(2016년 4월 17일 접수, 2016년 6월 8일 수정, 2016년 6월 16일 채택)

A Study on the Optimization of Ventilation Fan Position and Flow Rate for a Turbine Building of a Power Plant

T. K. Kim*, J. S. Ha*[†], C. H. Park**

*Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 1000, Korea

**Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University, Daegu 1000, Korea

(Received 17 April 2016, Revised 8 June 2016, Accepted 16 June 2016)

요 약

화력발전소 터빈 본관 내부는 고온의 스팀 배관, 탈기기, 스팀 저장 탱크, 수증기 차단 밸브 등의 존재로 터빈 본관 작업 공간의 공기가 고온으로 올라가서 작업자가 장시간 작업하기 곤란한 경우가 발생한다. 터빈 빌딩 작업 공간의 공기를 냉각하기 위해 터빈 빌딩 창문을 개방하여 외부의 찬 공기로 냉각하고 상부에 환풍기를 설치하여 외부로 배출한다. 이렇게 한 경우에도 국부적으로 고온의 영역이 존재하여 작업 공간의 냉각을 위한 추가적인 환풍기 설치가 필요하고, 이 경우 환풍기의 위치와 용량에 대한 최적화가 필요하다. 본 연구는 여러 가지 경우의 열 유동 해석을 통해 쾌적한 작업환경을 위한 추가적인 환풍기의 위치와 용량을 최적화한 방안을 제시 하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구를 통해 기존 환풍기 위치와 용량을 기준으로 터빈 본관 내부의 고온 영역인 탈기기 영역근처의 열원을 배출하는 환풍기를 추가로 설치하는 것이 전체온도를 3.0℃, 가장 고온의 영역인 탈기기영역의 온도를 4.2℃ 저감할 수 있었다.

주요어 : 발전소, 터빈 빌딩, 탈기기, 온도 저감, 환풍기

Abstract - The existence of high temperature equipment such as steam pipe, deaerator, steam storage tanks and main steam stop valves makes relatively higher workplace temperature in a power plant of the turbine building. In order to cool down the air temperature in the turbine building, the outside air flow with lower temperature passes through the window and the hotter air in the building is extracted to the outside by installing the ventilation fan on the roof. Nevertheless, higher temperature regions near the high temperature equipment still exist in the turbine building and additional fans for the temperature reduction in the higher temperature region should be examined for the optimal location and mass flow rate. The purpose of the present study is to suggest the optimized location and capacity of the additional ventilation fans for a comfortable working environment. From the present study, it has been elucidated that the additional ventilation fans might be located near the high temperature deaerator and it could reduce the mean temperature in the turbine building by 3.0℃ and the temperature near the deaerator could be reduced by 4.2℃.

Key words : Power plant, Turbine building, Deaerator, Temperature reduction, Ventilation fan

[†]To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University
Tel : 053-580-5919 E-mail : jisooa@kmu.ac.kr

1. 서론

오늘날 화력발전소의 수요는 상당히 많은 부분을 차지하고 있다. 석탄 화력발전소는 원자력발전소와 함께 기저부하를 담당하고 있으며 현재 국내 발전시장의 약 29%를 차지하고 있다. 설비용량도 500MW 표준화력 발전소에서 격상되어 최근 1000MW급까지 다수의 발전소가 건설 중이거나 계획 중에 있다.⁽¹⁾ 석탄 화력발전소는 오늘날 사람들이 이용하는 많은 전기 생산에 큰 역할을 맡고 있다. 화력 발전소는 연료와 공기를 연소를 시켜 에너지를 얻어 그 에너지를 이용해 증기를 만들고 증기를 이용해 터빈을 돌려 전기를 생산하는 방식을 사용하고 있다. 보일러에서 만들어진 고온의 증기는 터빈 빌딩에 있는 터빈을 구동할 때 고온의 열에너지는 전기를 생산하는 것뿐만 아니라 터빈 빌딩 내부 공기의 온도까지 상승시키는 작용을 일으킨다. 터빈 본관 내부 공기의 온도가 올라가면 작업자들의 작업환경을 저해하고 전자기기 및 설비의 오작동을 일으켜 발전 설비를 운영함에 있어 많은 문제를 일으킨다.

터빈 본관에서 고온의 열원이 있는 부분인 탈기, 고압증기 터빈 등의 열원의 온도를 저감시키기 위해 옥상층에 환풍기가 설치되어 있으며 터빈 전면부 및 측면부에 창문을 설치하여 내부에서 발생하는 열원을 환풍기를 통해 배출시키고 외부의 차가운 공기를 창문을 통해 유입시켜 온도를 떨어뜨리게 만드는 방식을 사용하고 있다. 하지만 이러한 장치들이 있어도 현재 터빈 빌딩 내부의 온도는 작업자들이 작업하기에 충분히 적절하지 못하고 높은 공기 온도의 작업 환경에 놓여 있다.

터빈 빌딩 내부의 온도가 저감되는 방안을 찾기 위해서 시행착오 방법으로 직접적인 시설을 개선하는 방법은 설비에 대한 막대한 시설 투자비용과 많은 시간을 필요로 한다. 이러한 많은 기회비용 및 투자비용을 최소화하기 위해 먼저 CFD(Computational Fluid Dynamics)시뮬레이션 기법을 통해 열 유동을 해석하여 온도 및 유동 최적화에 대한 적절한 장치들의 위치선정을 시행하여야 한다.⁽²⁾ 전산유동해석을 이용한 건물 내부유동 특성 분석에 관한 연구는 지금까지 많은 연구⁽³⁻⁶⁾가 진행되어 왔다. 대부분의 연구는 건물 내부의 공조 환기 유동에 대한 연구이다.

본 연구는 전산 열 유체 상용해석 프로그램인 Fluent 프로그램을 이용하여 터빈 빌딩 내부의 창문의 개방, 환풍기 위치와 용량에 관한 최적화에 관한 연구를 수행하였다. 이를 통해서 고온의 터빈 빌딩 내부의 고온 영역에

서 온도를 저감하여 쾌적한 작업환경으로 개선하는 것을 목적으로 하였다.

2. 수치해석 방법

2-1. 지배방정식

본 연구의 수치해석에 사용한 지배방정식은 3차원 좌표계이며 비압축성 유동을 해석할 때 난류 유동을 지배하는 보존 방정식은 아래와 같이 정의내릴 수 있다.

질량보존방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = S_m$$

운동량보존방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\mu (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] + \rho g_i + F$$

스칼라보존방정식

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j}) + S_\phi$$

위 식에서 ρ 는 밀도, t 는 시간, u_i 와 u_j 는 i 와 j 방향속도, x_i 와 x_j 는 i 와 j 번째 좌표, S_m 은 질량 source 항, ϕ 는 에너지, 난류 등의 스칼라량, Γ 는 확산계수, S_ϕ 는 ϕ 의 source를 나타낸다. 본 연구에서 터빈 본관의 해석을 위하여 사용한 해석 모델은 standard $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며 이 해석모델의 계산식은 다음과 같다.

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i}) + G_k + G_b + \rho \epsilon \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R \quad (2)$$

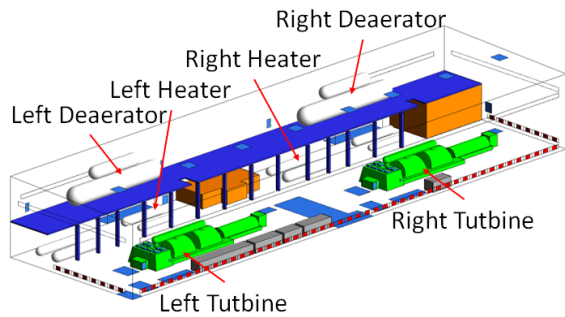
여기서, G_k 는 평균속도 기울기에 의한 난류 운동에너지의 생성, G_b 는 부력에 의한 난류 운동에너지 생성, α_k 와 α_ϵ 는 $k-\epsilon$ 에 관한 역 유효 Prandtl 수를 나타낸다.⁽³⁾

2-2. 형상 모델링

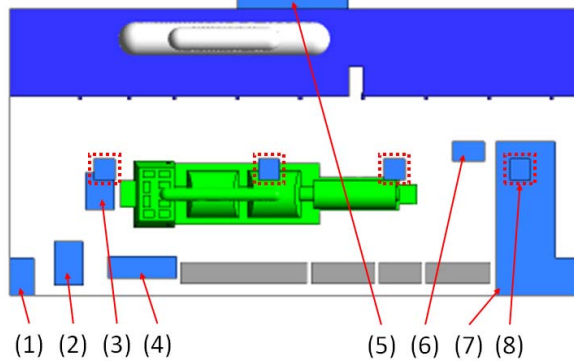
먼저 터빈 본관 내부의 건물 도면을 이용한 모델링을 시행하고 그에 따른 창문 및 송풍기와 각각의 열원을 통한 온도 및 유속을 측정하여 각 부분에 들어 올 수 있도록

Table 1. Geometry configuration of inlet condition

(1)	Left Stair
(2)	Condensate Pump Grating
(3)	Stop Valve Grating
(4)	Low Pump & Cooler Grating
(5)	Steam Header
(6)	Right Stair
(7)	Unloading bay
(8)	Fan



(1) Iso-view

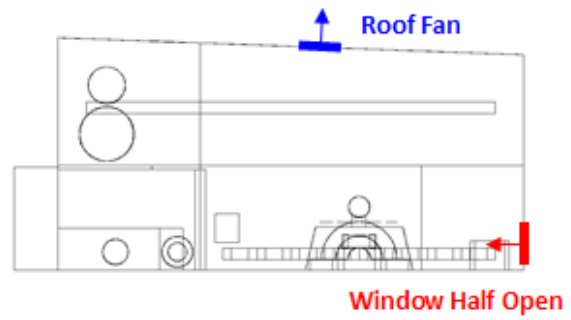


(2) Top-view

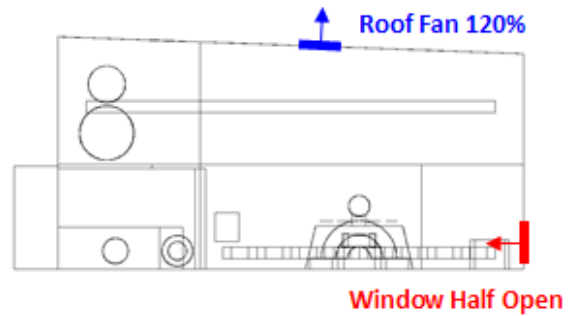
Fig. 1. Geometry configuration of turbine floor & deaerator floor.

하였다. 모델링한 형상의 모습은 Fig. 1의 형상과 같다.

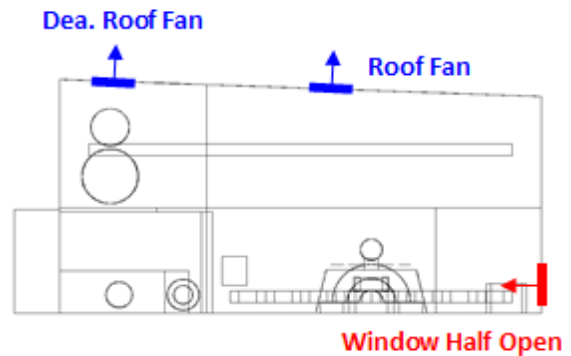
터빈 본관 내부의 구조는 2개의 터빈이 있는 구조로 각 터빈 당 히터가 4개씩 설치되어 있고 탈기기가 1개씩 설치되어 있는 구조로 되어있다. 그리고 터빈 중앙부에 통제실이 있고 측면 오른쪽 Turbine Floor에 창고가 설치되어 있다. 또한 창문 근처에 작업인부들이 설 수 있는 컨테



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 2. Configurations for three cases of CFD analysis. Case 1 : The present roof fan position and air flow rate, Case 2: The present roof fan position and 120% air flow rate, Case 3: Additional roof fan at deaerator roof.

이너가 설치되어 있다. 또한 터빈 본관을 지지할 수 있도록 H Beam이 구조물로 설치되어 있으나 해석에 큰 영향을 주지 못할 것으로 판단되어 Deaerator Floor를 지지할 수 있는 기둥을 제외한 나머지 구조물은 해석의 단순화를 위하여 제외시켰다. 격자의 개수는 약 14,760,000개로 구현하였으며 창문 및 환풍기와 같은 유량이 들어오는 부분의 격자를 좀 더 촘촘하게 구성하였다.

Fig. 2에 본 연구에서 수행한 3가지 형상에 대한 개략도를 나타내었다. 기존의 형상인 Case 1의 형상은 창문 및 환풍기의 유량 및 개수를 수정하지 않은 상태로 창문은 미닫이문으로 되어 있기 때문에 창문을 전체의 50%로 열어놓은 상태로 설정하였고 Case 2는 기존의 환풍기 위치에서 환풍기의 용량을 120%로 늘린 경우이고, Case 3은 현재의 환풍기의 용량과 같은 환풍기를 탈기기에 추가로 설치한 경우이다.

2-3. 경계조건

본 연구의 전산 열 유동 해석에 사용한 경계조건은 Table 2와 Table 3에 나타내었다. Table 2는 벽면에서 온도 경계 조건을 나타내었고 Table 3은 입구설정이 되어

있는 경계의 유속과 온도 조건을 나타내었다. 각 부분의 유속과 온도 조건은 열선유속계와 비접촉식 온도계를 사용하여 직접 측정하여 구한 값을 이용하였다.

열선유속계는 미국의 TSI사의 제품인 TSI VELOCICALC 9539 모델을 사용하였다. 이제품의 유속범위는 0~30 m/s, 정확도는 +/-0.015m/s, 분해능은 0.01m/s인 사양을 가지고 있다. 또한 비접촉식 온도계는 일반적으로 사용하는 알코올 온도계를 사용하여 측정하였다.

Table 2. Wall boundary conditions of Case 1

Right Deaerator storage tank	61.6°C
Right Deaerator	65.7°C
Left Deaerator storage tank	61.5°C
Left Deaerator	65.7°C
Right Heater	59.9°C
Left Heater	58.6°C
Right Turbine	45.0°C
Left Turbine	45.0°C



Fig. 3. Photograph of TSI VELOCICALC 9535.

Table 3. Inlet boundary conditions of Case 1

Roof Fan 1~8	-6.68m/s	-
Right Condensate Pump Grating	1.18m/s	51.3°C
Right Low Pump & Cooler Grating	0.43m/s	45.8°C
Right Stop Valve Grating	1.30m/s	51.2°C
Left Condensate Pump Grating	0.43m/s	51.0°C
Left Low Pump & Cooler Grating	0.56m/s	45.1°C
Left Stop Valve Grating	1.09m/s	53.1°C
Right Right Stair	0.93m/s	35.0°C
Left Left Stair	0.50m/s	31.0°C
Left Right Stair	0.43m/s	34.0°C
Steam Header	0.71m/s	38.1°C
Right Turbine Door	0.92m/s	60.8°C
Left Turbine Door	0.92m/s	56.2°C
Right Turbine HIP	1.70m/s	51.7°C
Left Turbine HIP	1.70m/s	50.8°C
Unloading bay	0.54m/s	32.5°C

3. 결과 및 고찰

3-1. 속도 분포 해석 결과

본 연구에서 전산 열 유체 해석은 모두 3차원 공간에 대하여 수행하였다. Fig. 2에서 나타낸 3가지 경우의 환풍기 위치와 용량에 대하여 우측 터빈의 탈기기가 있는 위치의 중앙 위치 단면에서 속도 분포를 비교하기로 한다. 이는 탈기기 주변 영역에서 유동이 정체되어 있어서 이 위치의 온도가 가장 높게 나타나고 있어서 탈기기 주변을 기준으로 속도 및 온도 분포를 분석하기 위해서이다.

Fig. 4에 탈기기 중앙 단면에서의 속도 분포를 비교하여 나타내었다. 유속의 단위는 m/s 를 사용하였으며 Contour의 가시화를 위하여 유속 범위는 $0m/s \sim 2m/s$ 로 범위를 결정하였다. 그림에서도 볼 수 있듯이 기존 형상인 Case 1을 보면 탈기기 영역에서 속도 크기가 작아서 정체 유동 영역임을 알 수 있다. Case 1에서 환풍기 유량을 120% 증가한 경우인 Case 2는 탈기기 주변에서의 유속의 변화는 크게 없었으나 환풍기 부근의 유속이 조금 더 크게 나타남을 관찰할 수 있다. 탈기기 상부에 환풍기를 추가로 설치한 Case 3의 경우에는 탈기기 부근의 정체 구간에서의 유동 속도 크기가 증가하는 것을 명확히 관찰할 수 있다. 이러한 결과로부터 터빈 빌딩 내부의 온도 저감을 위한 개선 방안을 모색하는 본 연구에서 환풍기 위치와 유량에 대하여 3 가지 경우의 유동 분포로 판단하건데 Case 3의 경우가 가장 효과적인 방법임을 간접적으로 확인할 수 있다고 판단된다. 다음 절에 3 가지 경우에 대하여 온도 분포 특성을 비교하여 효과적인 최적 개선 방안을 찾아보기로 한다.

3-2. 온도 분포 해석 결과

앞 절에서 유속 분포를 살펴 본 결과 환풍기를 탈기기 상부에 추가로 설치한 경우가 고온 영역인 탈기기 영역 부근의 온도를 저감할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 절에서는 온도 분포를 살펴보고 온도 저감에 대한 정량적인 비교를 3 가지 경우에 대하여 살펴보기로 한다. 3 가지 경우에 대하여 온도 분포를 비교한 것을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에 있는 온도 분포 단위는 $^{\circ}C$ 이며 Contour의 범위를 창문으로부터 들어오는 공기의 온도가 약 $26.85^{\circ}C$ 이며 탈기기 주변의 공기 온도가 약 $50^{\circ}C$ 이기 때문에 온도범위를 $26.85^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$ 로 선정하였다. 먼저 Case 1을 보면 탈기기 벽면 부분에서의 공기 온도가 가장 높은 것을 볼 수 있었다. 이는 탈기기 주변의 뜨거운 벽면의 온

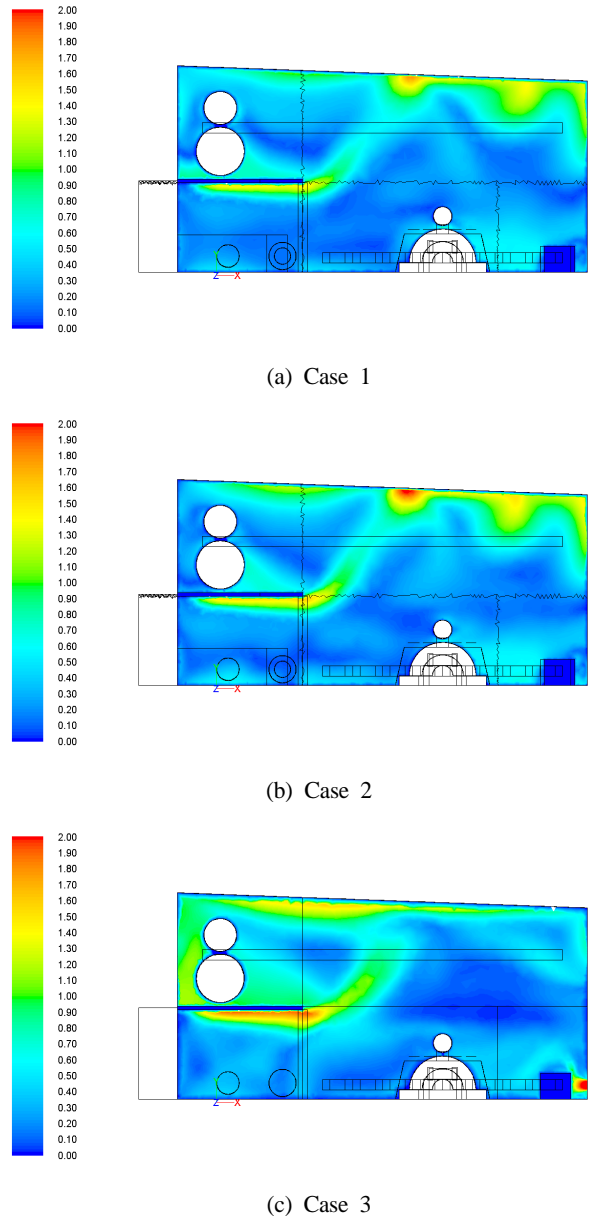
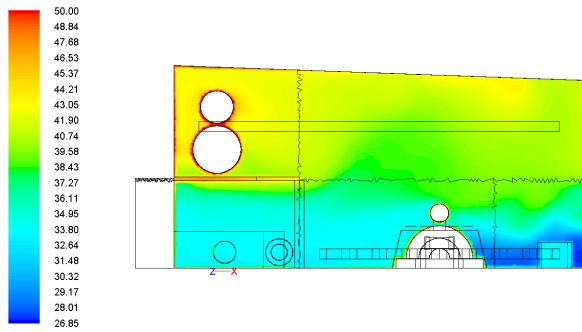
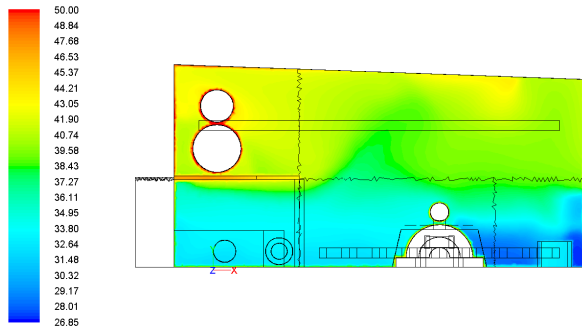


Fig. 4. Velocity magnitude contours at right deaerator sectional plane for three cases. (unit : m/s)

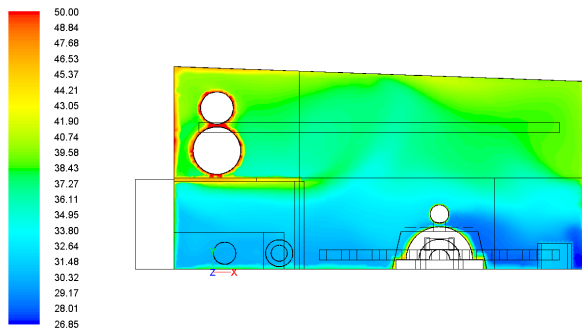
도 영향을 많이 받고 있음과 동시에 유동이 정체되어 높은 온도가 빠져나가지 않기 때문이라 판단된다. Case 2는 Case 1과 비교하였을 때 환풍기의 유량을 120% 증가하였기에 창문에서 들어오는 유량이 많아져서 터빈이 있는 부근의 온도가 저감되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 탈기기 부근의 온도 저감 효과는 크게 개선되지 않음을 알 수 있다. 탈기기 영역의 상부에 환풍기를 추가로 설치한 경우인 Case 3에서는 탈기기 주변의 정체된 고온의 공기가 추가로 설치된 환풍기를 통해 빠져나가는 효과와 의



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 5. Temperature contours at right deaerator sectional plane for three cases. (unit : °C)

부로부터 들어오는 공기의 양도 Case 1에 비하여 훨씬 많이 증가하여 터빈 주변과 탈기기 주변의 온도가 모두 저감되는 것을 관찰할 수 있다.

3가지 경우의 온도 저감 효과를 정량화 하여 비교하기 위해 Fig. 6에서처럼 터빈 빌딩 내부 영역을 5개 영역으로 나누어 각 영역의 체적 평균온도를 구하여 비교하기로 한다. Fig. 6에 나타난 5가지 영역은 탈기기 영역(Dea.), 터빈 상층부 영역(Air), 창문 영역(Window), 터빈 영역(Turbine) 그리고 히터 영역(HTR)으로 구분하였다.

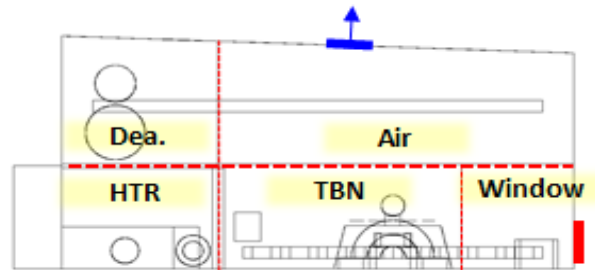


Fig. 6. The selected region for volume mean temperature.

Table 4에서 Case 1의 온도분포를 살펴보면 탈기기에 서의 온도가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 탈기기에서 발산하는 표면의 열이 높고, 터빈 층의 바닥에 있는 그레이팅으로 통해서 올라오는 고온의 공기와 터빈에서 발생하는 고온의 공기가 천장으로 올라가서 상단 부를 뜨겁게 하기 때문이라 판단된다. 환풍기의 용량을 120% 늘린 해석인 Case 2를 보면 미미하지만 온도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 외부로부터 유입되어 들어오는 공기는 창문을 통하여 들어오기 때문에 환풍기의 용량을 증가시킨 만큼 질량보존의 법칙에 의해 창문으로 유입되어 들어오는 공기가 많아지게 되어 전체 온도 중에서 창문에서 떨어지는 온도가 가장 크게 나타났다. 그러나 고온 영역인 탈기기에서 온도 저감 효과는 0.5°C 로 크지 않은 정도임을 알 수 있다.

Case 3의 온도 저감은 전체 Case 중에서 가장 낮게 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 현재 상태에서 탈기기 상부에 추가로 환풍기를 설치하였기 때문에 창문 영역에서의 온도 저감 또한 현저하게 나타났고 탈기기 상단에 환풍기를 부착하였기 때문에 가장 온도가 높은 탈기기 주위의 공기를 밖으로 배출되어 온도 저감 효과가 가장 큰 영역으로 나타났다.

온도 분포 비교뿐만 아니라 각 영역에서 에너지량에 대한 비교를 Table 5에 나타내었다. 에너지량은 각 영역에서의 엔탈피량으로 비교하였다. 이 Table에서도 알 수 있듯이 Case 3의 경우가 총 에너지 저감이 3kJ/kg으로 Case 1의 엔탈피가 22.6% 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 탈기기에서는 Case 1에 비해 25.3% 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

지금까지의 온도 분포 비교와 에너지 비교를 통해 Case 3의 경우가 다른 경우 보다 터빈 빌딩 내부의 전체 온도와 에너지를 저감하고 특히 고온 영역인 탈기기 영역에서 온도 - 4.2°C 에너지 25.3%, 평균온도 -3.0°C, 에너지 22.6% 저감하는 효과가 있음을 알 수 있었다.

Table 4. Comparison of volume mean temperature reduction for three cases

unit : °C	Case 1	Case 2		Case 3	
	T	T	ΔT	T	ΔT
Deaerator	41.5	41.0	-0.5	37.3	-4.2
Turbine	35.0	34.4	-0.6	32.5	-2.4
Heater	35.6	35.3	-0.2	33.7	-1.9
Air	40.5	40.0	-0.5	37.4	-3.1
Window	34.3	33.5	-0.8	32.2	-2.1
Total	38.3	37.7	-0.5	35.3	-3.0

Table 5. Comparison of enthalpy reduction for three cases

unit : kJ/kg	Case 1	Case 2		Case 3	
	H	H	ΔH	H	ΔH
Deaerator	16.6	16.1	-0.5	12.4	-4.2
Turbine	10.0	9.4	-0.6	7.5	-2.5
Heater	10.6	10.4	-0.2	8.7	-1.9
Air	15.6	15.1	-0.5	12.5	-3.1
Window	9.3	8.5	-0.8	7.2	-2.1
Total	13.3	12.8	-0.5	10.3	-3.0

4. 결론

지금까지 터빈 빌딩 내부 고온 공기를 저감하기 위해 환풍기 위치와 유량을 변화하여 3 가지 경우의 전산 열 유체 해석을 수행하여 유속과 온도 분포 비교를 통해 최적의 온도 저감 방안을 도출하였으며 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 속도 분포 해석 결과

기존 형상인 Case 1에 비해 환풍기 유량을 120% 증가한 Case 2와 탈기기 상부에 환풍기를 추가 설치한 Case 3의 유속이 증가하는 것을 확인하였다. Case 2는 창문 부근에는 속도가 증가하지만 고온 영역인 탈기기 부근에서는 속도의 증가를 관찰할 수 없었다. Case 3에서는 탈기기 영역 부근에서도 속도의 증가를 확인할 수 있었으며 이를 통하여 Case 3의 경우가 온도 저감에 효과적임을 예측할 수 있었다.

2) 온도 분포 해석 결과

온도분포 비교를 위해 터빈 빌딩 내부의 영역을 5개 영역으로 나누어서 각 영역의 체적 평균온도를 산출하여 3 가지 경우에 대하여 비교하였다. 그 결과 Case 2의 전체 평균온도와 탈기기에서의 평균온도가 Case 1보다 -0.5°C , 에너지 3.0% 떨어져서 온도 저감 효과가 크지 않음을 알 수 있었다. Case 3의 경우는 전체 평균온도는 -3°C , 에너지 22.6% 저감 되었고 탈기기 영역에서는 -4.2°C , 에너지 25.3% 저감되어 3 가지 경우에서 가장 효과적인 온도 저감 방안을 알 수 있었다.

References

1. Kim, M. C.: "Overview of improving profitability of Coal Fired Power Plants", KEPCO, (2013)
2. Moon, S. M., Kwon, S. Y., and Lim, J. H.: "Improvement of Energy Efficiency of Plants Factory by Arranging Air Circulation Fan and Air Flow Control

- Based on CFD”, JICS, Vol. 16, 57-65, (1996)
3. Chung, Y. B., Ha, Y. C.: “A Study for Application and Numerical Prediction of Wind Pressure Distribution over Building cladding Using Computational Fluent Dynamics”, The Wind Engineering Institute of Korea, Vol. 12, 113-119, (2008)
 4. Lee, M. G., Jung, K. K.: “Optimal Measuring Point Selection Method of Indoor Temperature using CFD Analysis”, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 16, 1559-1566, (2012)
 5. Kim, D. Y., Song, D. S.: “Effect of wind-pressure on indoor Air-flow in High-rise office buildings”, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 609-613, (2015)
 6. Lee, W. R., Park, J. S., Ahn, B. W. and Sohn, J. Y.: “An Evaluation and Analyzing of Indoor Air Temperature and Airflow Patterns with Various Air Conditioning System in Office”, Architectural Institute of Korea, Vol. 18, 799-804, (1998)