

발전소 터빈건물의 창문 위치에 따른 온도저감

하지수* · 김태권*[†] · 정경호**

*계명대학교 기계자동차공학과, **계명대학교 대학원 기계공학과
(2016년 8월 23일 접수, 2016년 10월 21일 수정, 2016년 10월 25일 채택)

Temperature Reduction with the Location of Window in a Turbine Building of Power Plant

J. S. Ha* · T. K. Kim*[†] · K. H. Jeong**

*Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 1000, Korea
**Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Keimyung University, Daegu 1000, Korea
(Received 24 August 2016, Revised 21 October 2016, Accepted 25 October 2016)

요 약

본 연구에서는 화력발전소 터빈 건물의 온도저감 방안을 도출하기 위해 전산유체역학 상용코드인 ANSYS-FLUENT를 이용하여 열유동 해석을 수행하였다. 터빈 건물의 운전층(operating floor)과 탈기기층(deaerator floor)을 검사체적으로 선정하여 모델링을 하였으며 탈기기층에 설치된 기존의 채광창을 활용하여 환기창으로 대체하는 경우에 대해 해석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 첫째, 운전층의 온도를 저감하기 위한 방안은 탈기기층의 모든 창문을 열지 않아야 됨을 알았다. 둘째, 탈기기층의 온도를 저감하기 위한 방안으로 탈기기층의 전면부의 창문을 개방하면 탈기기 영역과 크레인 영역은 각각 1.5℃와 1.6℃를 저감할 수 있었고, 탈기기 후면부의 창문을 개방하면 탈기기 영역은 1.4℃, 크레인 영역은 0.5℃의 온도를 저감할 수 있었다. 따라서 고온의 탈기기층 전체 영역의 온도를 저감하기 위해서는 탈기기층 전면부의 창문을 개방하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

주요어 : 온도저감, 창문위치, 탈기기, 터빈건물, 화력발전소

Abstract - In this study, a thermal flow analysis was performed using the commercial code, ANSYS-FLUENT to reduce room temperature in a turbine building of power plant. The selected control volume of the operating floor and deaerator floor for the turbine building was respectively modelled. The skylight windows at the deaerator floor were employed for ventilation windows. Through the study, in the first we found that all window close of the deaerator floor is one alternative for reducing the temperature of the operating floor. The next thing we knew that for windows open at the front of the deaerator floor, the temperature of deaerator zone and crane zone can be respectively reduced to 1.5 °C and 1.6 °C. In addition, for windows close at the rear of the deaerator floor, the temperature of deaerator zone and crane zone can be respectively reduced to 1.4 and 0.5 °C. Therefore, it was concluded that a better choice is to open the front windows at deaerator floor to reduce the temperature of the entire deaerator floor having high temperature.

Key words : Temperature reduction, Window location, Deaerator, Turbine building, Power plant

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-53-580-5551 E-mail : tkkim@kmu.ac.kr

1. 서 론

1-1. 연구배경 및 목적

국가에너지통계종합정보시스템의 자료에 의하면 2013년 우리나라 화력발전의 설비비중은 85,358MW 중 50,495MW를 차지하고 있고 이는 약 60%에 해당하는 비중이다. 화력발전은 입지 선정 조건에 큰 제약이 없어 대도시나 공업 단지와 인접하게 건설하고 있다. 이러한 입지의 장점뿐만 아니라 최근 원전의 문제점이 발생함에 따라 화력발전의 의존도가 더욱 높아지고 있는 추세이다. 하지만 원전의 공백을 메우기 위해 화력발전을 지속적으로 가동하게 된다면 터빈 설비의 표면온도가 증가하고 각종 기기의 윤활유 및 냉각수의 온도상승으로 성능저하 및 오작동이 발생하면서 설비 관리 및 안정운전에 지장을 초래할 수 있다. 또한 발전소 내의 작업 환경 온도가 상승하여 현장 기술자 및 정비원들이 작업에 어려움을 겪을 수 있다. 한국산업안전보건공단의 고열작업환경 노출기준 표⁽¹⁾에 의하면 열량 소모가 200 kcal/hr인 경작업일 경우 32.2℃의 온도에서 매시간 마다 25%의 작업과 75%의 휴식을 취해야한다. 본 연구대상의 발전소 터빈 건물의 경우 하계 외기 온도는 약 28℃이다. 그러나 터빈, 히터, 그리고 탈기기의 근처에서 측정된 공기 온도는 45~66℃에 이르고 있기 때문에 작업자가 장시간 작업하기 힘든 온도임을 알 수 있다.

따라서 본 연구는 터빈건물 내의 온도를 저감하기 위해 터빈건물에 기존 설치되어 있는 채광창문을 환기구로 개조하거나 혹은 새롭게 환기구를 설치하는 등의 다양한 경우에 대한 열·유동 특성을 분석하고, 이를 통해 터빈실내의 열섬현상을 해소함으로써 작업자 및 온도에 민감한 계측기 등의 작동환경을 개선하고자한다.

1-2. 연구동향

본 연구에 앞서 선행 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 건물 내·외부 유동에 관련하여 연구들이 많이 진행되었다. 먼저 박경서 등은 건물 외부 환기장치 성능개선을 위해 유동해석을 수행하였다. 이는 공장 외부에 효율적이고 경제적인 환기 시스템을 구축하기 위해 유동해석을 수행하였고⁽²⁾ 정영배 등은 건축물을 합리적으로 설계하기 위해 건물 외벽의 풍압분포를 RNG $k-\epsilon$ 모델을 이용하여 수치적으로 예측하였다.⁽³⁾ 또한 조강표 등은 건축물군에서 인접한 건축물의 간섭효과에 따른

풍압을 비교하였고⁽⁴⁾ 박재현 등은 CFD를 이용한 박스형 건물의 풍압분포 분석에 관한 연구를 수행하였다.⁽⁵⁾ 김대영 등에 의해 고층건물에서 외부바람이 건물 내 공기유동에 미치는 영향에 대해 연구하였다.⁽⁶⁾ 추가적으로 박준범은 디젤 엔진 발전소의 최적 환기 시스템에 관한 연구를 수행하였다.⁽⁷⁾

위의 선행 연구들을 바탕으로 건물 유동의 경향을 알 수 있었고 본 연구의 CFD 해석 모델을 선정하는데 참고하였다.

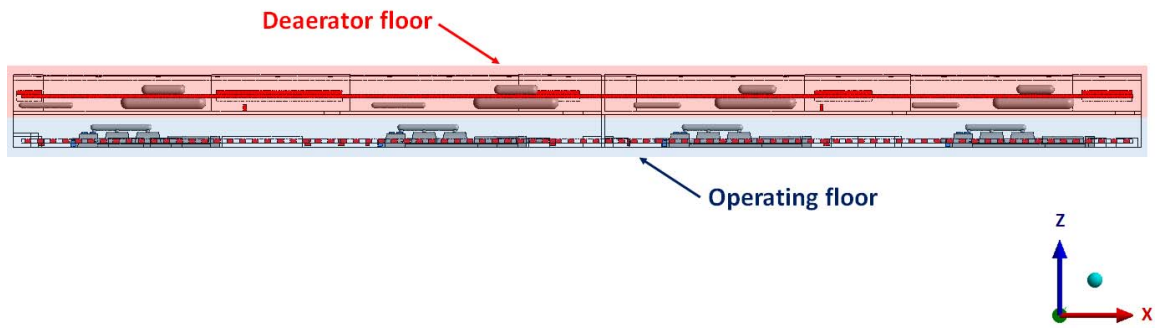
2. 수치해석방법

2-1. 수치해석 모델

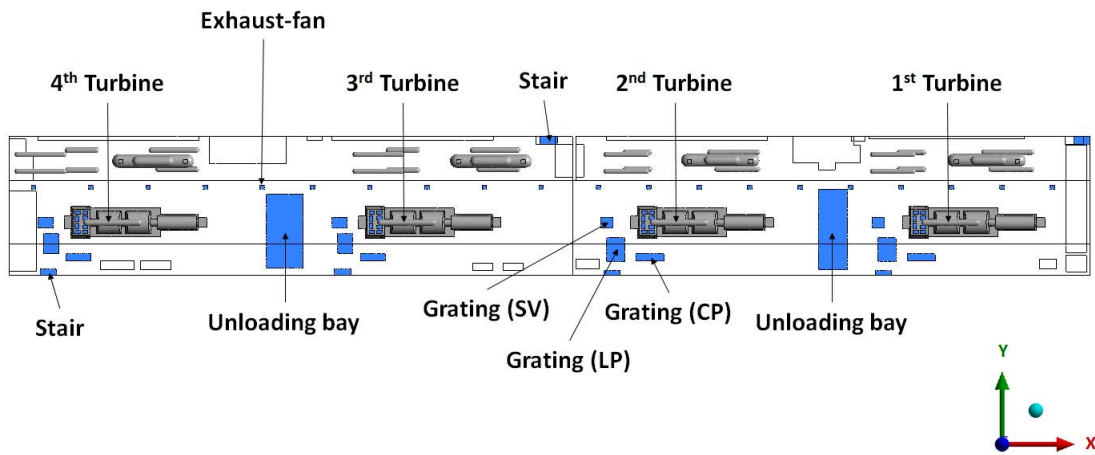
전산해석에 사용된 소프트웨어는 열유체 상용해석 프로그램인 ANSYS-FLUENT를 사용하였으며, 유한체적법(FVM, finite volume method)을 사용해 질량, 운동량, 에너지 보존방정식을 푸는 CFD 코드이다. 본 연구의 유동해석에 사용된 지배방정식은 이론가이드⁽⁸⁾에서와 같은 비압축성유동 3차원 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지방정식, 그리고 난류 방정식이다. 난류 모델은 standard $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.

터빈 건물은 지하층(underground floor), 1층(ground floor), 2층(mezzanine floor), 운전층(operating floor), 그리고 탈기기층(deaerator floor)으로 5개의 층으로 구분되어 있다. 비교적 고온의 열원이 적은 지하층과 1층은 형상 모델링에서 제외하였다. 또한 2층의 경우 고온의 열원이 존재하지만 2층에서 운전층으로 유출되는 공기의 유량과 온도를 쉽게 측정할 수 있기 때문에 모델의 단순화를 위해 본 연구에서는 관심영역을 운전층과 탈기기층으로 설정하여 형상을 모델링하였다. 형상 모델링은 Fig. 1에 나타내었다.

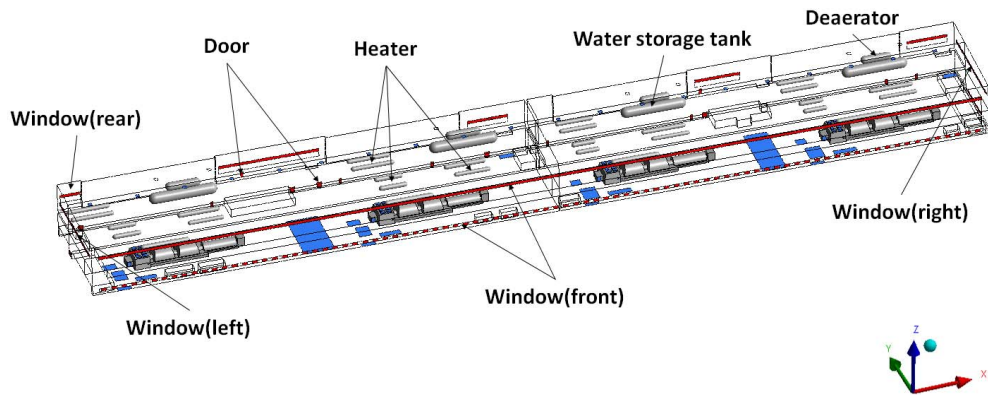
Fig. 1의 (a) Front view를 보면 청색(아래)은 운전층이고 적색(위)은 탈기기층이다. 두 층으로 명칭은 구분되어 있지만 탈기기 설치를 위해 일정부분 바닥이 있으나 전체적인 유체영역은 하나의 공간이라 할 수 있다. (b) Top view에서 보면 터빈은 우측에서부터 1~4호기 순으로 모델링을 하였다. 운전층 바닥에는 2층과 유동이 교환되는 부분인 계단(stair), 그레이팅(grating sv, lp, cp), 하적장(unloading bay)이 있고, 천장에는 내부 공기를 배출하는 배기 송풍기(exhaust-fan)가 있다. 배기 송풍기는 터빈을 기준으로 호기마다 5개씩 총 20개가 있다. (c) Isometric view에서의 탈기기층의 4개 방향의 창문은 채광창으로 외부공기의 유입



(a) Front view



(b) Top view



(c) Isometric view

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

은 없고 운전층과 탈기기층의 출입문을 통해서만 유입된다. 탈기기층에는 보일러 급수 중의 용해가스를 제거하는 장치인 탈기기(deaerator)와 저수조(water storage tank), 그리고 히터(heater) 등의 설비가 있다.

2-2. 경계조건

Case에 따른 창문의 경계조건은 Fig. 2에 나타내었다. 각 Case의 공통 조건은 운전층의 전면부 창문이 개방되어 있다는 점이다. (a) Case 1은 실제 발전소

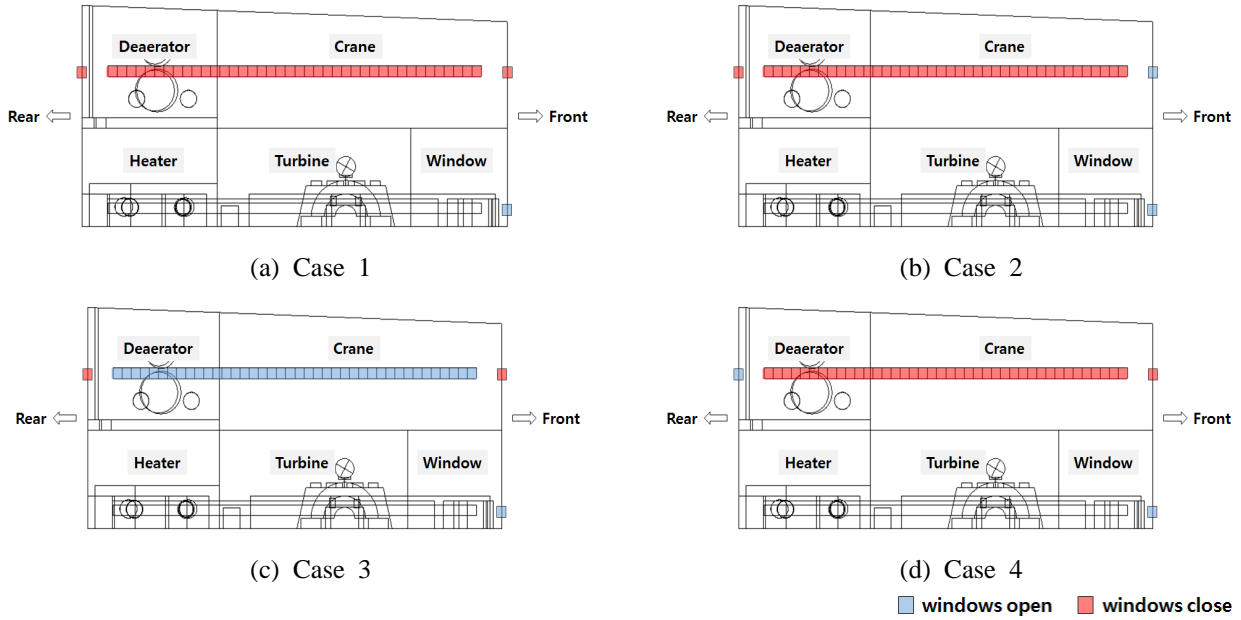


Fig. 2. Selected regions for volume mean temperature and boundary conditions of cases

설비와 유사한 조건으로써 탈기기층의 창문이 모두 채광창이다. 즉 탈기기층 창문을 통한 외부와의 공기 출입은 없다. (b) Case 2는 탈기기층의 전면부에 있는 창문을 개방하였다. (c) Case 3은 탈기기층의 측면부에 있는 창문을 모두 개방한 조건이다. 마지막으로 (d) Case 4는 탈기기층의 후면에 있는 창문을 개방하였다. 2층에서 유출되는 공기의 속도나 온도에 대해서는 Case에 따른 변화가 없다고 가정하였다. 2층에서 유입되는 공기의 유속과 온도는 inlet 조건으로 설정하였고 배기 송풍기와 각층의 창문과 출입문들은 outlet으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 속도분포 특성

유동 속도분포를 확인하기 위해 필요한 2차원 단면은 외부에 노출된 설비 중에 가장 고온인 탈기기의 단면(x방향 중심)으로 선정하여 Fig. 3에 나타내었다. 관심 호기 선정은 터빈 건물의 중심부(터빈 2, 3호기)의 터빈 2호기와 측면부(터빈 1, 4호기)의 터빈 4호기를 택하였다. 유동 속도의 범위는 다음과 같다. 청색은 0m/s에 근접하는 값을 나타내고, 적색은 1.0m/s 또는 그 이상의 값을 나타낸다.

Case 1의 터빈 2호기는 유동이 운전층의 히터 영역에는 영향을 미치지 않고 탈기기층으로 상승한다. 터

빈 4호기의 유동은 운전층의 터빈 영역이 유동 속도가 낮고 탈기기층에서 유동이 일어난다. Case 2의 터빈 2호기에서는 탈기기층 창문에서 유입된 공기에 의해 일부 공기는 바닥으로 하강하여 아래쪽에 유입된 공기와 만나 운전층에서 Case 1보다 빠른 유동을 보인다. 터빈 4호기도 터빈 2호기와 유동 분포의 경향은 비슷하지만 속도가 느리다. Case 3은 Case 1과 비슷한 경향을 보인다. 터빈 2호기는 Case 1보다 히터 영역의 유동이 조금 더 원활하지만 터빈 4호기는 오히려 히터와 탈기기 영역 모두 유동이 적으며 전체적으로 속도가 낮아졌다. Case 4의 터빈 2호기는 크레인 영역 아래부터 탈기기 영역 후면까지 유동이 비교적 균일하게 존재한다. 터빈 4호기도 속도는 조금 느리지만 터빈 2호기와 마찬가지로 다른 Case에 비해 전체적으로 유동이 있음을 알 수 있다.

3-2. 온도분포 특성

Fig. 4는 유동 속도분포와 동일한 단면을 통해 온도 분포를 나타내었다. 청색은 0℃에 근접하는 값을 나타내고, 적색은 40℃ 또는 그 이상의 값을 나타낸다. Table 1은 온도를 정량화하여 영역별, 호기별로 온도를 비교할 수 있도록 나타내었다.

Case 1은 터빈과 히터 영역에서는 온도가 가장 낮고 탈기기와 크레인 영역에서는 온도가 가장 높다. 운전층 창문으로만 유입된 저온의 공기가 운전층의 열기는

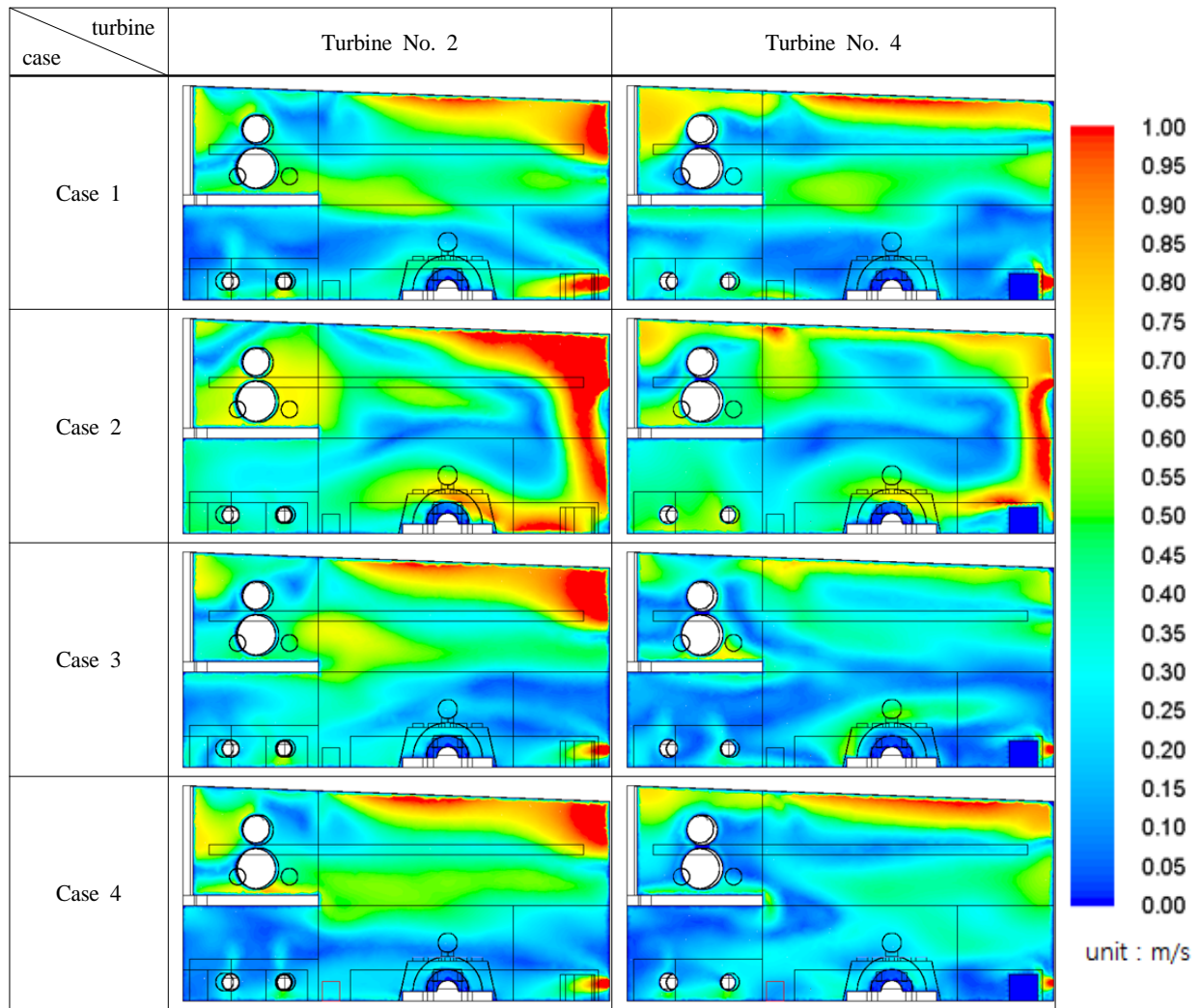


Fig. 3. Velocity magnitude contours at right deaerator sectional plane for Turbine no. 2, and no. 4

Table 1. Comparison of reduction of volume mean temperature for four cases (unit : °C)

| volume | | Case 1 | Case 2 | ΔT_{Case1} | Case 3 | ΔT_{Case1} | Case 4 | ΔT_{Case1} |
|-----------|-----|--------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
| Deaerator | 1-2 | 36.1 | 36.1 | 0 | 36.2 | 0.1 | 36.2 | 0.1 |
| | 3-4 | 38.0 | 36.5 | -1.5 | 37.1 | -0.9 | 36.6 | -1.4 |
| Crane | 1-2 | 35.6 | 35.8 | 0.2 | 36.0 | 0.4 | 35.9 | 0.3 |
| | 3-4 | 37.4 | 35.8 | -1.6 | 36.5 | -0.9 | 36.9 | -0.5 |
| Heater | 1-2 | 29.0 | 31.7 | 2.7 | 31.2 | 2.2 | 30.8 | 1.8 |
| | 3-4 | 32.5 | 31.9 | -0.6 | 31.6 | -0.9 | 32.9 | 0.4 |
| Turbine | 1-2 | 29.0 | 32.4 | 3.4 | 31.4 | 2.4 | 31.5 | 2.5 |
| | 3-4 | 32.4 | 32.8 | 0.4 | 31.6 | -0.8 | 33.0 | 0.6 |
| Window | 1-2 | 30.1 | 32.6 | 2.5 | 31.0 | 0.9 | 30.8 | 0.7 |
| | 3-4 | 32.4 | 32.5 | 0.1 | 30.7 | -1.7 | 32.2 | -0.2 |

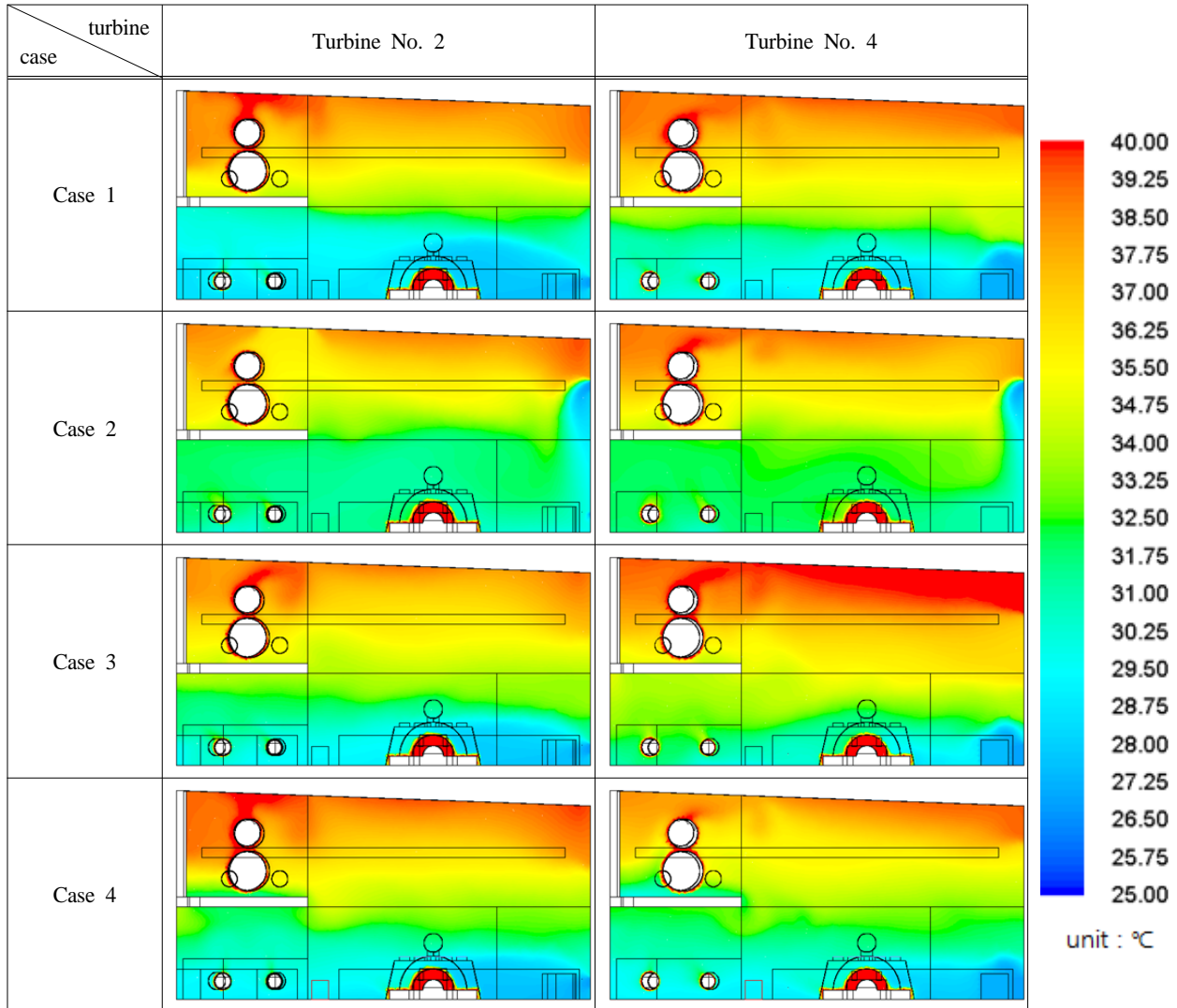


Fig. 4. Temperature contours at right deaerator sectional plane for Turbine no. 2, and no. 4

식혀주지만 탈기 영역까지는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. Case 2는 탈기 영역에서의 온도가 가장 낮고 터빈과 창문 영역에서 온도가 가장 높다. Case 1에서는 운전층의 창문에서만 유입되던 공기가 Case 2에서는 탈기층 창문과 함께 유입되어 공기량이 분산되었다. 운전층 전영역에서의 온도가 Case 1에 비해 높지만 탈기와 크레인 영역에서는 약 1.5 정도 감소하였다. 높은 지점에서의 공기 유입으로 인해 탈기층의 온도를 저감할 수 있었다. Case 3은 Case 1에 비해 탈기층의 온도는 낮게 나타났고 창문 영역을 제외한 운전층 전역에서는 온도가 높게 확인되었다. Case 4는 온도분포 경향이 Case 2와 유사하며 크레인 영역에서 가장 온도가 낮았고 히터 영역

에서 가장 높게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 화력발전소의 터빈 건물 내의 온도를 저감하기 위해 터빈 건물에 기존에 설치되어 있는 채광창문을 환기구로 개조하거나 혹은 새롭게 환기구를 설치하는 등의 다양한 경우에 대한 열유동 특성을 분석하였고, 이를 통해 터빈실내의 열섬현상을 개선하기 위한 유동조건을 제시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 운전층에서의 속도 분포를 통하여 탈기층 전

면부 창문 개방 조건인 Case 2의 터빈 2호기에서 유동이 가장 활발하였고 탈기기층의 창문을 모두 닫은 조건인 Case 1의 2호기와 4호기 모두 운전층에서 유동이 정체되는 구간이 많았다. 탈기기층의 속도 분포는 탈기기층 후면부 창문을 개방한 Case 4의 2호기에서 유동이 가장 원활하였고 탈기기층 측면부 창문 개방 조건인 Case 3의 4호기에서 유동 정체구간이 가장 많았다.

2) 온도 분포를 확인하면 Case 2와 Case 4의 탈기기, 크레인 영역이 온도가 낮은 경향을 보였고 히터와 터빈 영역의 온도는 Case 1이, 창문 영역은 Case 3이 다른 Case들에 비해 온도가 가장 낮았다.

따라서 창문을 일부 개방하는 조건을 통해 운전층과 탈기기층의 전체 영역에서 온도 저감 방안은 어렵다는 것을 알 수 있었다. 예를 들어 터빈 설비 중 가장 온도가 높은 곳인 탈기기 영역의 온도를 저감하기 위해서는 탈기기층 전면부 창문을 개방하는 Case 2와 후면부 창문을 개방하는 Case 4를 선택하는 것이 유리하다. 하지만 탈기기층의 온도는 저감하더라도 운전층의 온도는 오히려 상승하는 경향이 나타나므로 목적에 따라 창문 개방 조건을 달리하여 사용하는 것이 합당할 것이라고 판단되었다. 추가적으로 창문을 통한 자연 대류의 효과가 미비하였기 때문에 천장에 설치된 환기팬의 개수와 위치, 용량의 변화를 주어 강제 대류의 조건으로 연구를 수행할 것이다.

References

1. 정은교 : "고열작업환경 관리지침," 안전보건공단, pp. 6-7, (2015)
2. Park, K.S. 외: "CFD Analysis for the Outside Ventilation System Performance Improvement," The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 2012, No. pp. 2878-2880, (2012)
3. Chung, Y.B. and 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, No. 2, pp. 113-119, (2008)
4. Cho, K.P. and Jeong, S.H.: "Estimation of Wind Pressure on Apartment Buildings in a Group Using

a CFD Analysis," Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 1, pp. 27-34, (2011)

5. Park, J.H. 외: "A Study about Analysis of Wind Pressure Distribution for a Rectangular Building Using CFD," The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, Vol. 2015, No. 6, pp. 295-298, (2015)
6. Kim, D.Y., and 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, Vol. 2015, No. 6, pp. 609-613, (2015)
7. Park, J.B.: "An Experimental Study on Optimal Ventilation System in a Diesel Power Plant," Ulsan University, Masters. Dissertation (in Korean), (2014)
8. ANSYS, Inc.: ANSYS FLUENT theory guide release 14.0, ANSYS Inc., (2011)