

화력발전소 복수기 3차원 열유동 모사

이진욱, 민동호, *김범신
에이티이에스(주), 한전전력연구원*

Three Dimensional CFD Analysis for the Condenser of the Fossil Power Plant

J.W.Lee, D.H. Min, B.S. Kim*
ATES Ltd., Korea Electric Power Research Institute*

1. 서론

본 연구의 목표는 현재 복수기의 운전상황을 반영한 열유동 해석을 수행하여 저압터빈 후드 온도의 좌우 편차가 발생하는 원인을 분석하는 것이다. 그러나 실제 복수기가 기하학적 형상이 복잡하고, 운전조건의 명확한 설정이 어려우며, 또한 수치해석에도 포함되는 오차 등을 고려하면, 단순히 현재의 운전조건 만을 반영한 해석에 의하여서는 원인의 규명이 어렵게 된다. 본 연구에서는 이런 점을 고려하여 현재 파악된 운전 조건을 중심으로 몇 가지 제반 변수의 변화에 대한 해석, 즉, parameter study를 수행하여 그 결과를 상호비교하고 분석함으로써 후드의 온도 편차가 발생하는 원인을 규명하고자 하였다.

본 연구에서는 터빈에서 복수기로 유입되는 저압스팀의 유량과 고압 스팀의 유량과의 비(ratio) 및 고압 스팀의 유입 여부에 대한 유동 특성 및 온도장 분포 특성 등에 대한 연구를 수행하였다. 또한 유동의 특성에 따라 온도장이 변화하는 경향을 명확하게 규명하기 위한 방안으로서, 터빈의 회전 방향 변화에 따른 복수기 내부의 유동장 및 온도장의 특성 변화에 대한 연구를 수행하였다. 최종적으로 이와 같은 해석결과들을 비교분석함으로써 본 연구의 주목적인 저압 터빈 후드의 좌우 온도 편차가 발생하는 원인을 규명하고자 하였다.

2. 수학적 모델링

본 연구의 경우, 복수기 후단부에서 응축의 영향을 배제하고 해석을 수행하였는데, 난류 및 열전달을 수합하는 단상유동(single phase)을 지배하는 보존 방정식을 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics) 방법을 적용하여 해석하였다. 즉, 다음과 같이 표현될 수 있는 질량보존, 운동량 방정식 및 난류방정식 및 에너지방정식을 해석하였다.

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

국부적으로 음속에 가까운 영역이 존재하지만 그 영역이 좁기에 Low-Mach Number 유동으로 가정하였고, 난류모델은 표준 k-ε 모델을 사용하였으며 일반화된 CFD 코드인 Fluent 5를 이용하였다.

3. 복수기의 특징 및 계산 조건

해석 대상인 서울화력의 복수기에서는 저압 터빈에서의 송출 유량이 적은 경우에 후드의 좌우 온도 편차가 발생하고 있으며 이 경우의 저압 터빈에서의 송출 유량은 약 15~40ton/hr이다. 이때 복수기로 유입되는 고압스팀의 유량은 저압스팀 유량의 약 2~5% 정도인 것으로 추정되고 있다. 그리고 복수기의 운전 압력은 약 -700mmHg이다. 이와 같은 복수기의 표준 해석 조건을 표 1에 정리하였다. 이상의 조건을 기준으로 하여, 복수기 내부의 유동장 및 온도장의 특성을 정성적으로 분석할 수 있는 변수를 변경해 가며 수치해석을 수행하였는데,

이를 표 2에 정리하였다.

표 1 복수기의 표준 해석 조건

표 2 수치 해석 조건 요약

항목	조건	Case #	저압터빈 회전방향	고압스팀 유량 비율	열교환기 저항 설정	저압스팀 유량
복수기 유입 유량 저압 스팀 고압 스팀	15~20 ton/hr 저압스팀의 2~5%	1	cw	2 %	low ΔP	20ton/hr
		2	-	2 %	low ΔP	20ton/hr
		3	ccw	2 %	low ΔP	20ton/hr
스팀 온도 저압 스팀 고압 스팀	약 130°C 약 500°C	4	cw	0 %	low ΔP	20ton/hr
		5	ccw	0 %	low ΔP	20ton/hr
		6	cw	2 %	high ΔP	20ton/hr
		7	cw	2 %	low ΔP	10ton/hr
복수기 운전 압력	-700mmHg	8	cw	4 %	low ΔP	10ton/hr

주 1) 저압 터빈 회전 방향 : 고압 스팀 유입구 설치 위치에서 본 회전 방향

주 2) 열교환기 저항 설정 : 수치해석상 다공질 매체로 가정함에 따름.

4. 결과 및 고찰

그림 1은 복수기의 형상 및 수치해석을 위하여 생성된 격자로서 외부 표면 및 터빈 표면 등에서의 표면격자의 모습을 각각 나타내고 있다. 본 연구의 해석을 위하여 사면체 형상으로서 총 633,488개의 제어체적(cell)으로 구성하여 해석을 수행하였다.

우선 터빈이 전면(고압스팀 분사구가 위치한 면)에서 바라본 기준으로 시계방향의 회전을 하고 있고 있는 경우의 해석결과에 대하여 고찰하고자 한다. 표 2의 CASE 1은 저압스팀의 공급유량이 20ton/hr이며, 고압스팀의 유량은 저압스팀의 2~5% 정도인 것으로 알려져 있는데 2%인 경우에 대한 해석조건이다. 그림 2(a)는 전면에서 바라본 단면으로서 복수기 중심 단면에서의 속도 벡터를 보여주고 있다. 저압터빈에서 배출된 수증기가 원심력의 영향으로 각 벽 방향으로 치우치는 경향을 보여주고 있으며 또한 시계 방향의 회전 특성으로 인하여 좌측으로 약간 치우치는 경향을 보여주고 있다. 그림 2(b)와 그림 2(c)는 각각 중심에서 전면 및 후면 방향으로 1.8m 떨어진 위치의 단면(터빈 출구 직후 위치의 단면)에서의 속도벡터로서 터빈의 회전에 따른 영향을 보여주고 있는데, 터빈 출구 직전의 단면의 특성상 두 단면에서의 속도 거동은 매우 유사함을 보여주고 있다. 이와 같은 사실은 전면에서 분사되는 고압스팀의 양이 적은 관계로 인하여 복수기 내부의 유동 특성에 큰 영향을 미치지 않는다는 점을 보여주고 있다. 그림 3은 복수기 내부 각 단면에서의 온도 분포도를 나타내고 있다. 중심 단면에서의 온도분포도인 그림 2(a)로부터 고압스팀의 분사가 현장에서 측정위치인 좌우측 벽면 근처까지는 고압스팀에 의한 영향이 미치지 못함을 알 수 있다. 그림 2(b)는 고압스팀 분사 위치 근처(전면 근처) 단면에서의 온도장으로서 좌우로 거의 확산되지 못한 경향을 보여주고 있다. 그림 2(c)는 후면 근처의 온도분포도를 보여주고 있는데 역시 좌우 벽면 근처에서의 온도차이는 아주 약함을 알 수 있다. 그러나 그림 2(c)에서는 고압스팀 분사위치가 약간 우측에 치우쳐 있음에도 불구하고, 온도장은 고온 영역이 약간 좌측으로 치우친 경향을 보여줌으로써 시계 방향의 회전이 복수기 내부의 온도장에 정도가 강해지는 않지만 영향을 미치고 있다는 점은 분명히 보여주고 있다.

그림 4는 고압 스팀의 유량 비율을 증가시킨 CASE 8에 대한 속도 벡터를 나타내고 있다. 이 경우, 저압 스팀의 배출량(따라서 축 방향 배출 속도)을 50%로 줄인 반면에 회전 속도는 3600RPM으로 유지한 조건의 특성상 선회(swirl)의 효과가 강하여 졌다. 그림 4의 속도 벡터는 CASE 1의 속도 벡터인 그림 2에 비하여 터빈의 회전에 의한 효과가 강해진 경향을 보여주고 있다. 그리고 고압 스팀의 침투가 그림 2에 비하여 비교적 뚜렷하게 관찰되고 있다. 그림 5는 고압 스팀의 유량 비율이 증가함에 따라 복수기 내부의 좌우 온도 편차가 발생하는 경향을 비교적 뚜렷하게 보여주고 있다. 특히 후벽(rear) 쪽으로 가면서 좌우

벽면 근처에서의 온도 차이는 심하여져서, 중심에서 후벽 쪽으로 2.0m 치우친 단면에서의 좌우 벽면에서 약 20~25°C 정도의 온도 차이를 보여 주고 있다.

그림 5(a)는 Case 1에 대하여 고압스팀 분사위치에서 가상의 입자를 추적하는 기법을 이용하여 고온 수증기의 경로를 추적한 그림을 나타내고 있다. 시계 방향의 회전으로 인하여 좌측으로 치우치는 경향을 보여주고 있으나 좌우 벽면 근처까지 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림의 수증기 경로에서의 색깔은 각 위치에서의 온도를 나타내고 있는데(범례(legend) 참조)는, 고온 수증기가 급속히 냉각되는 경향을 보여 주고 있다. 그림 5(b)는 Case 8에 대하여 고압 스팀 분사 위치에서 출발한 가상 입자의 궤적을 나타내고 있다. 유동의 선회 영향이 강해진 점과 고압 스팀의 유량 비율이 증가한 점이 복합적으로 작용하여 가상 입자의 궤적이 복수기의 좌측으로 상당히 치우치는 경향이 관찰되었다.

5. 결론

화력발전소 복수기 내부의 열유동해석을 수행하였다. 저압 스팀의 배출량이 20ton/hr이고 고압 스팀의 분사량이 저압 스팀 배출량의 2%인 경우를 기준조건으로 설정하였다. 저압 터빈의 회전방향은 고압 스팀 분사를 전면(front)으로 설정하고, 전면에서 바라 본 경우를 기준으로 하여, 회전 방향에 따른 영향, 고압 스팀의 분사 유무 및 유량 비율의 증가 등의 상황을 가정하여 수치해석 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

복수기 내부의 유동 특성은 저압 터빈의 회전 방향의 영향을 많이 받고 있다. 특히 저압 스팀의 유량이 감소하게 되면, 터빈 배출구에서 축 방향 속도는 감소하지만 회전 방향 속도는 유지되는 특성상 회전(선회)의 영향이 더욱 강해져서 한쪽 방향으로 유동이 치우치는 특성이 더욱 강해짐을 알 수 있었다. 따라서 저압 스팀의 유량을 기준으로 동일한 비율로 고압 스팀이 분사되더라도 저압 스팀의 유량이 적은 경우에 고온 영역이 좌측에 치우치는 경향이 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

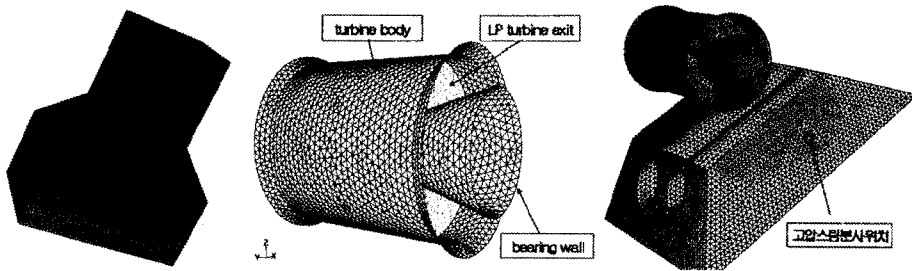


그림 1 서울화력 복수기 외부 표면 격자

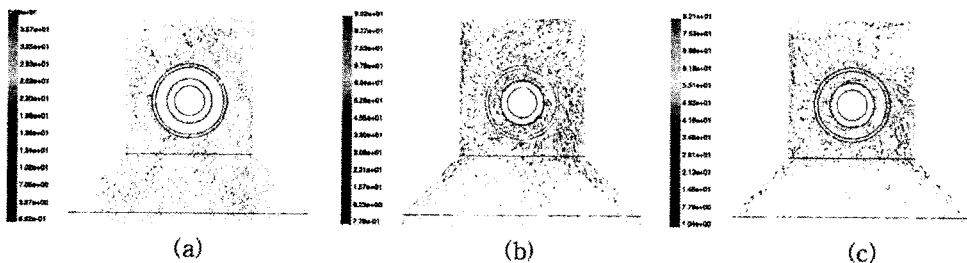


그림 2. 복수기 내부의 속도 분포(CASE 1, 전면에서 바라본 모습)
(a) 중심, (b) 중심에서 전면으로 1.8m, (c) 중심에서 후면으로 1.8m

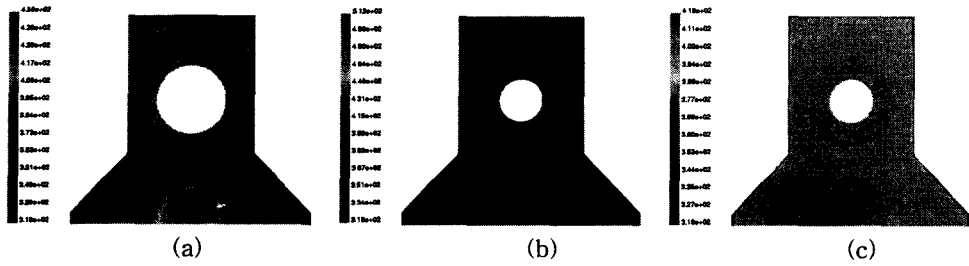


그림 3. 복수기 내부의 온도 분포(CASE 1, 전면에서 바라본 모습)
 (a) 중심, (b) 중심에서 전면으로 2.0m, (c) 중심에서 후면으로 2.0m

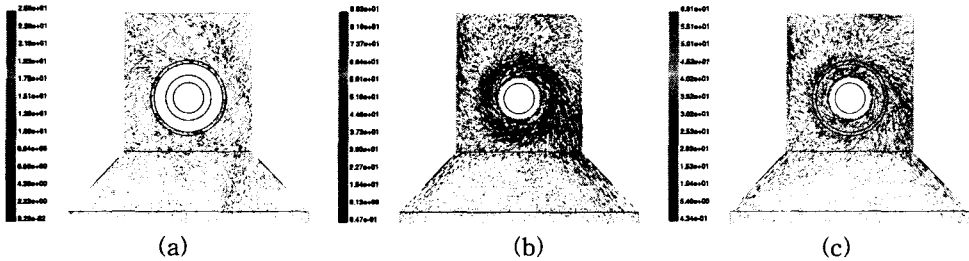


그림 4. 복수기 내부의 속도 분포(CASE 8, 전면에서 바라본 모습)
 (a) 중심에서 전면으로 1.8m, (b) 중심, (c) 중심에서 후면으로 1.8m

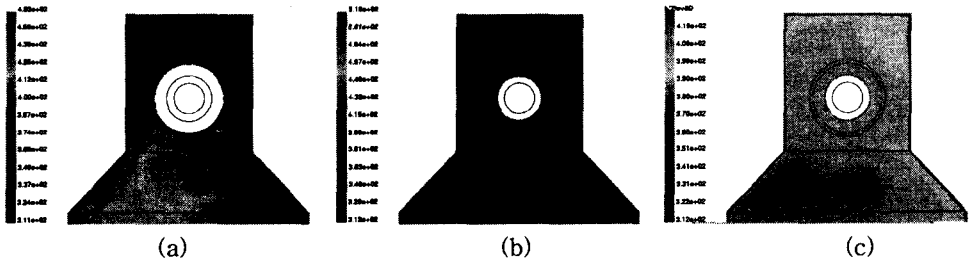


그림 5. 복수기 내부의 온도 분포(CASE 8, 전면에서 바라본 모습)
 (a) 중심, (b) 중심에서 전면으로 2.0m, (c) 중심에서 후면으로 2.0m

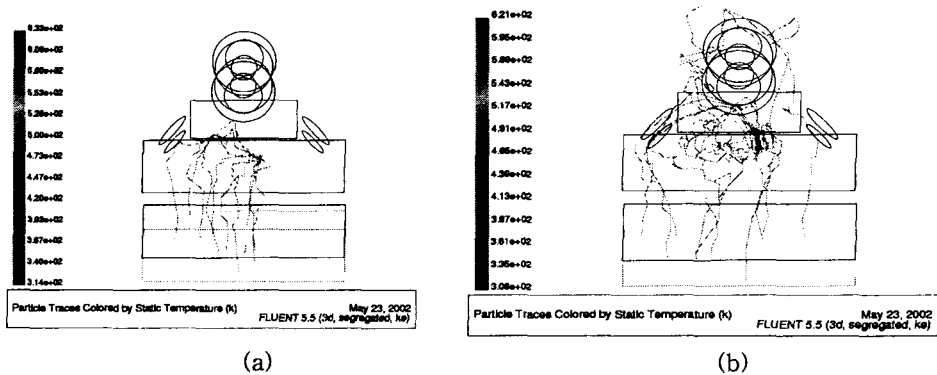


그림 6. 고압스팀 분사위치에서의 가상의 입자 경로, (a) Case 1, (b) Case 8