

Vessel Tank로 유입되는 폐열회수 처리에 관한 연구



한전전력연구원
수화력발전연구소 기술기획팀
과장/구재량
Tel : (042)865-5305

Abstract

When a Combined cycle power plant was started, Steam turbine wasted pure water too much during prewarming of turbine. Wasted pure water gathered in vessel tank and evaporated immediately, then emitted atmosphere. We investigated method to recover the heat in vessel tank. We installed a heat exchanger in vessel tank. In this study, the designing and manufacturing procedures of the heat exchanger was presented. Also, the performance results was showed briefly.

Key Words: Heat Recovery(폐열회수), Vessel Tank(베셀탱크), Heat Exchanger(열교환기)

1. 서론

복합 화력발전소의 증기터빈은 냉간 및 열간 기동 시 주증기 배관의 온도 상승률이 낮아 기동 시간이 많이 소요되어 주증기 조절 밸브의 전단 고압터빈 Drain Line Orifice를 확장하여 기동시간을 단축하는 효과를 얻었다. 그러나, Drain량이 증가하게 되어 Vessel Tank에서의 많은 양의 응축수가 증기로 변화하여 외부로 배출하게 됨에 따라 물과 에너지의 손실이 발생하게 되었다.

따라서, 외부로 배출되는 증기를 Drain vessel에서 회수하게 되면 외부로 유출되는 에너지를 최소화하게 되고 이를 통하여 회수되는 응축수를 계통에 활용하게 됨에 따라 발전시스템의 효율을 향상하는데 기여할 수

있다.

본 연구에서는 High tube array heat exchanger를 사용하여 Drain Vessel에서 고압, 고온으로 유입되는 증기를 Condenser로 회수하고, 또한 응축에 사용된 물을 Deaerator 가열에 이용하여 열에너지의 이용을 최대한 극대화 하고자 하였다. 따라서 위의 목적을 달성하기 위하여 발전소의 기본적인 성능저하를 수반하지 않는 조건에서 Drain Vessel의 크기에 적합한 열교환기를 설계하여 설치함으로써 응축수를 효율적으로 회수 할 수 있도록 하였다.

2. 열교환기 설계

2.1 열교환기 Type 선정

고압터빈 Steam line에서 Drain되는 증기를 Drain Vessel에서 응축하여 물로 회수하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 복합화력 발전 System에 가장 적합한 High pin tube array heat exchanger를 사용하여 고압, 고온으로 유입되는 증기를 회수할 수 있는 방식을 채택하였으며, 이를 위하여 복합 화력발전소에 설치되어 있는 Drain Vessel의 크기에 적합하고 응축을 효율적으로 수행 할 수 있는 최적의 열교환기를 선정하였다.

2.2 열교환기의 기본성능 계산

2.2.1 Vessel Tank의 입구조건 계산

열교환기의 기본적인 성능을 예측하기 위하여 다음과 같은 방법을 이용하였다. 먼저 고압터빈 Steam line에서 공급되는 증기가 밸브를 통하여 Vessel Tank로 공

[표 1] Property of steam in inlet

항목	HP	IP	LP	Unit
압력	14	3,8	1,35	bar
온도	702	702	502	K
속도	10	14,9	5,1	m/s
유량	5,6	2,28	0,36	kg/s

급되는데 밸브를 통한 압력 손실을 계산하여 Vessel Tank입구에서의 설계 조건을 먼저 계산하였다.

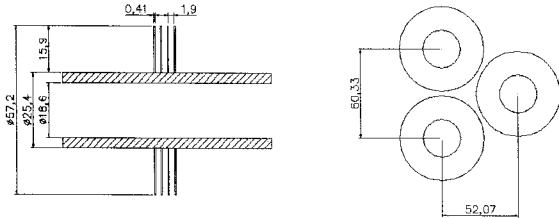
2.2.2 열교환기의 성능

앞 절에서 계산된 vessel Tank 입구에서의 증기의 주요 물성치를 이용하고 냉각을 위해 공급되는 물의 물성치를 이용하여 열교환기를 통과하는 과열증기의 온도 감소와 냉각수의 온도 상승을 계산하였다. 앞 절에서 계산된 결과를 보면 고압터빈에서 공급되는 증기의 온도 및 유량이 대부분을 차지하여 고압터빈에서 공급되는 증기를 효과적으로 냉각하는 것이 가장 중요한 설계 목표로 하였다.

고압터빈에서 공급되는 증기를 효과적으로 냉각하기 위하여 열교환기의 Row, 길이, 냉각수 공급 방식을 변경하여 가면서 열교환기의 기본적인 배치를 결정하였고 기본적인 치수는 다음의 [표 2]에 나타내었다.

[표-2] Dimension of heat exchanger

항목	값	항목	값
열수	5(총250개)	냉각수 공급직경	25.4 mm
길이	80 cm	핀 높이	15.9 mm
배치	환형	핀 간격	60 & 51 mm



[그림 1] Form of heat exchanger

[표 2]를 기본으로 계산을 수행한 결과를 [표 3]에 나타내었다.

[표 3] Result of analysis at heat exchanger

구 분	HP
냉각수 입구온도, °C	27
냉각수 출구온도, °C	82
과열증기 입구온도, °C	429
과열증기 출구온도, °C	115

결과는 증기의 출구온도 측면과 냉각수의 출구 온도 측면에서 상당히 만족할 만한 결과를 얻어 이의 결과를 바탕으로 열교환기의 Tube number를 결정하였으며 냉각수의 공급관의 직경은 2inch로 하고 2inch 냉각수 공급관은 다시 4개로 분류하여 각각 1inch의 직경

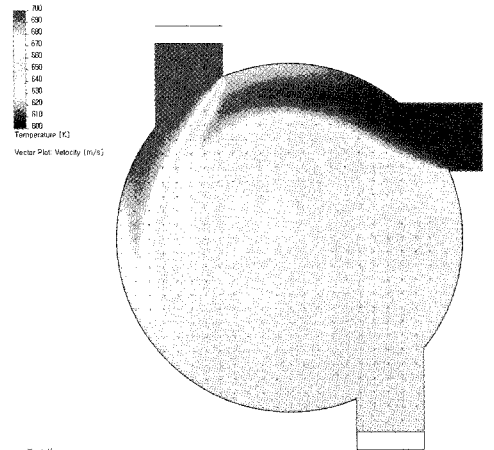
크기의 관으로 열교환기로 공급하기로 결정하였다. 4개의 관으로 냉각수를 공급 할 경우에 냉각수 및 증기의 출구 온도는 위의 표에서 나타난 결과 보다 낮아 질 것으로 예측되나 IP, LP에서 공급되는 증기와 동시에 고려하여야 하므로 여기에서는 각각 공급되는 증기에 대해서만 고려하였다.

3. 열교환기의 유동해석

증기터빈 Drain 응축시스템이 설치되는 Drain Vessel에서의 High pin tube array heat exchanger에 의하여 Drain 되는 증기가 어느 정도 응축이 될 수 있는지를 확인하기 위하여 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 수행하는데 적용된 S/W는 Cosmos Flow Works를 이용하였으며 Drain Vessel을 3차원 모델링하고 계산 격자를 약 470,000개로 나누어 해석을 수행하였다. 열교환기가 없는 경우와 설계된 High pin tube array heat exchanger 각각의 경우에 대하여 해석을 수행하였으며, 기본적인 해석조건은 앞 절에서 계산한 온도, 압력, 유량, 열전달 계수 등의 물성치를 기본으로 하여 해석을 수행하였다.

3.1 기존 형상에 대한 해석결과

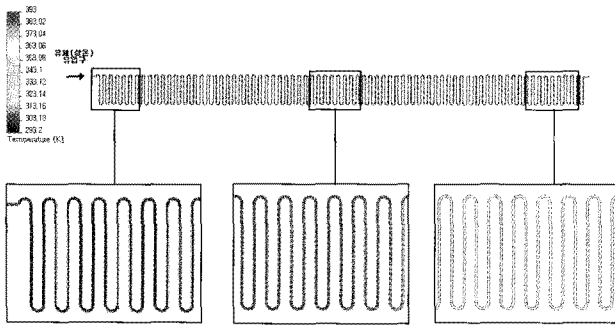
Vessel Tank내에 열교환기나 기타 증기 응축시스템이 설치되지 않은 경우에 대하여 유동해석을 수행하였다. 다음의 [그림 2]는 Vessel Tank 단면에서의 온도 분포(증기 유입Duct 중간 단면 기준)를 보여주고 있다. HP, IP, LP에서 공급되는 증기가 혼합되면서 높은 온도와 압력의 증기를 유지하고 있으며 Vessel Tank 내로 유입되는 증기는 응축이 거의 일어나지 않는 것을 확인 할 수 있다.



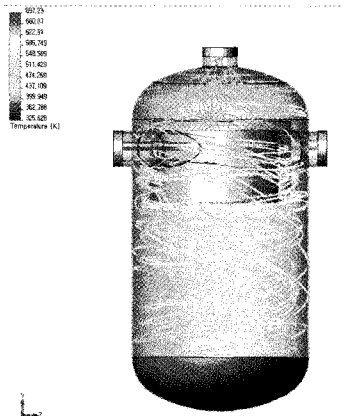
[그림 2] Result of analysis

3.2 High Pin tube 열교환기의 해석결과

Vessel Tank내에 High pin tube array heat exchanger를 설치한 경우에 대한 유동해석을 수행하였으며 유동해석을 수행한 결과, 열교환기를 통과한 후 과열증기의 온도는 100℃ 이하로 떨어져 상당한 양의 응축수가 발생함을 알 수 있었다. 다음의 [그림 3]은 열교환기에 공급되는 냉각수의 입/출구온도를 보여주고 있으며 출구의 온도가 약 80℃ 정도를 유지하고 있음을 알 수 있다. [그림 4]는 Vessel Tank내에서의 과열증기의 운동 궤적 및 온도를 보여주고 있다.



[그림 3] Temp of change in/out heat exchanger

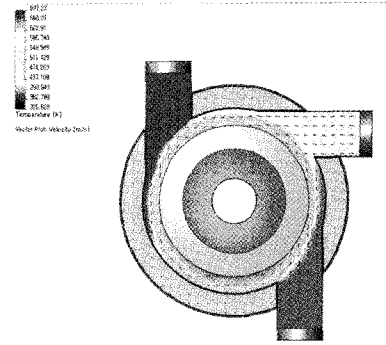


[그림 4] Dynamic motion of particle at steam

[그림 5]는 열교환기가 설치되어 있는 Vessel Tank 내 단면의 온도 분포를 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 열교환기를 통과하면서 높은 온도의 증기는 낮은 온도를 갖는 증기로 변화하고 있음을 잘 보여주고 있다. 이러한 증기의 온도 변화는 상대 습도의 변화로 인하여 상당량의 증기가 응축이 되며, 대기로 많은 양의 증기 배출이 저감됨을 확인 할 수 있다.

앞에서의 해석 결과에서 보는 바와 같이 Vessel Tank내에 High pin tube array heat exchanger를 설치하는 경우 증기의 온도는 상당히 낮아지고 있음을 알 수 있으며, 복합화력 증기터빈의 Vessel Tank내에서 증기를 회수하기 위해서는 High pin tube

array heat exchanger를 설치하는 것이 타당하다는 것을 유추할 수 있다.



[그림 5] Temperature distribution at vessel tank

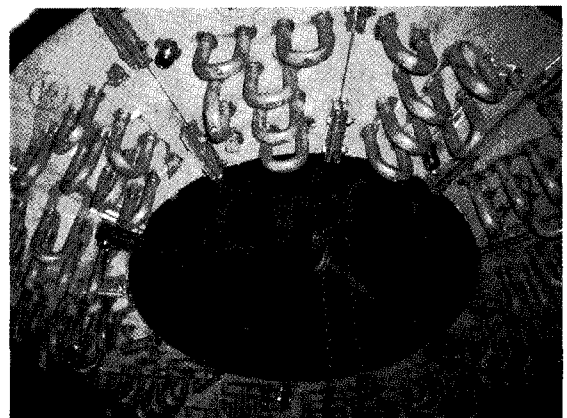
4. 열교환기의 제작 및 시험

4.1 열교환기의 설치

Vessel Tank의 Manhole을 통하여 열교환기를 설치하기 위해 열교환기를 30° 각도 Part별로 제작하여 Tank안에서 조립하였으며, Tube와 Tube사이는 알콘 용접을 실시하였으며, Vessel Tank내의 구조물을 이용하여 열교환기를 장착하였다.

열팽창으로 인한 과도한 응력을 해소하고자 열교환기 밑 부분의 고정부위는 약 5mm정도의 간극을 주었다.

냉각수의 공급은 2inch Pipe에서 4개로 분기하여 냉각수를 공급하고 다시 2inch Pipe로 합쳐 응축수를 회수 하도록 설계 하였다.



[그림 6] Installation of heat exchanger

4.2 열교환기의 시험

[표 4]에서 보이듯이 냉각수의 온도는 이상적으로 상승하였으나, 냉각수의 공급유량은 다소 적게 나타났으며, 기동 초기에는 응축 상태가 양호하나, Tank로의

[표-4] Result of test at heat exchanger

항 목	냉 각 수		항 목	응 축 수	
	해석결과	실험결과		해석결과	실험결과
입구온도 (°C)	23	23	응축수 온도(°C)	-	116
출구온도 (°C)	92	106	응축량 (Kg/hr)	3,852	2,900
공급량 (Kg/hr)	19,000	15,000			
배출량 (Kg/hr)	19,000	15,000			

증기량이 증가되면 유입되는 증기량에 비해 응축수량이 다소 적게 나타나는데, 이에 대한 원인은 증기량이 증가하면서 증기의 속도가 빨라져 Vessel Tank내에 증기

가 체류하는 시간이 짧아져 원활한 열교환이 이루어지지 않은 것으로 판단됨.

4. 결론

제한된 Vessel Tank의 공간내에 설치할 수 있는 열교환기를 설계하기 위하여, 각종 프로그램을 이용하여 열교환 성능을 예측 계산하고, 열교환기 설치 상태에서의 증기 유동해석을 실시하였으며, 실제 설치 후 시험결과가 해석 결과와 비슷한 데이터를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- (1) Korea Power Electric Corporation, 2004, Technical Report

주요 유럽국가들의 열병합발전 지원 메커니즘과 국내 열병합발전 지원 제도



한국에너지기술연구원
열병합보일러연구센터
책임연구원/공학박사 박병식
Tel : (042)860-3323

본 원고에서는 유럽 주요 국가들의 열병합발전 지원 정책을 간단히 살펴보고, 현재 우리나라에서 큰 어려움을 겪고 있는 열병합발전 보급에 대한 상황 개선 방안에 참고할만한 것이 있는지 알아보려고 한다.

1. 독일

가. 2002 열병합발전법(2002 CHP Law)

독일은 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz(열병합발전법)을 주요 CHP 정책으로 하고 있다. 열병합발전법

의 목표는 기존 CHP 설비의 현대화와 연료전지 CHP의 개발 및 상업화를 통하여 1998년 대비 2010년까지 23 Mt의 이산화탄소 방출량을 감소하는 것이다.

열병합발전법은 도입 지원(Feed-in support)에 적합한 열병합발전소를 다음의 4가지 영역으로 구분하고 있다.

- ❖ 구형 열병합발전 설비 (1990년 1월 이전부터 가동중인 것)
- ❖ 신형 열병합발전 설비 (1990년 1월과 2002년 1월 사이에 가동된 것)
- ❖ 현대화된 구형 열병합발전 설비 (2002년 4월 1일 이후 개조되어 2005년 말까지 재가동된 것)
- ❖ 신형 소형열병합발전 설비 (2MWe 이하로, 2002년 4월 1일 이후 가동된 것)

2010까지 열병합발전 법의 총 예산은 44억4천8백만 유로이며, 그 중 3억5천8백만 유로는 연료전지 발전 사업에 쓰인다.